DER ZEITLICHE VERLAUF DER ABSORPTION VON GASEN DURCH HOLZKOHLE.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT ROSTOCK

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

VORGELEGT

VON

FRIEDRICH BERGTER

AUS DRESDEN.

LEIPZIG,

JOHANN AMBROSIUS BARTH

1911.

Referent: Prof. Dr. Heydweiller.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhaltsübersicht.

Seite

§ 1. **Einleitung** 5
§ 2. **Die verwendete Kohle** 6

A. Versuche bei höheren Drucken.

§ 3. Die Versuchsanordnung. (Hierzu Fig. 1) 7
§ 4. Gang eines Versuches und Meßgenauigkeit 11
§ 5. Vorversuche 13
a) Die Heiztemperatur. (Hierzu Tab. I, 1 und 2 und Taf. I, Doppelkurve a.) 13
b) Einfluß der Korngröße der Kohle. (Hierzu Tab. I, 3, Taf. I, Kurve b und Fig. 1a.) 16
§ 6. Die eigentlichen Versuchsergebnisse. (Hierzu Tab. II und Taf. I, Kurven 1—5.) 18

B. Versuche bei niederen Drucken.

§ 7. Die Versuchsanordnung. (Hierzu Fig. 2.) 23
§ 8. Gang und Kritik der Messung 26
§ 9. Versuche 29
a) Vorversuche 29
b) Stickstoffversuche. (Hierzu Tab. III, Taf. II und III und Fig. 3.) 31
c) Sauerstoffversuche. (Hierzu Tab. IV und Taf. III, 2.) . 39
d) Luftversuche. (Hierzu Tab. V, Taf. III, 3 und IV.) . . 41
§ 10. **Allgemeine Folgerungen** 51
§ 11. **Zusammenstellung der Ergebnisse** 54

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553620_0004

§ 1. Einleitung.

Die bisherigen Arbeiten über die Absorption von Gasen durch feste Körper[1]) beschäftigen sich fast ausschließlich mit dem Endzustand der auftretenden Prozesse unter der Annahme, daß nach einer gewissen, meist durch die Beobachtungen begründeten Zeit die absorbierten Mengen nicht mehr merklich zunehmen. Der Grund hiervon mag vielleicht der sein, daß die Beobachtungen des zeitlichen Verlaufes verwickeltere und umfangreichere Versuchsanordnungen erfordern. Die Kenntnis desselben ist aber sowohl für solche Prozesse, welche die Absorption als Hilfsmittel benutzen, z. B. die Herstellung der Vakua, als auch für diejenigen, welche durch die Absorption stärker beeinflußt werden, wie z. B. die lichtelektrischen Erscheinungen, von erheblichem Belang.

Nachdem einige Vorversuche ergeben hatten, daß die geplanten Untersuchungen auf feste Körper von sehr kräftigem Absorptionsvermögen für Gase zu beschränken sind, wählte man, hierdurch auch zugleich den zurzeit wichtigsten Körper

---

1) Ein Verzeichnis der älteren in Betracht kommenden Arbeiten befindet sich bei P. Mühlfarth, Ann. d. Phys. **3.** p. 328. 1900. Außer der dort und der im Laufe der vorliegenden Abhandlung erwähnten Literatur seien noch angeführt: Mond, Ramsay u. Shields, Zeitschr. f. physik. Chem. **19.** p. 25. 1896; A. Mior, Nuov. Cim. **9.** p. 67. 1899; J. Giesen, Ann. d. Phys. **10.** p. 838. 1903; M. Travers, Proc. Roy. Soc. (A) **78.** p. 9. 1906; A. Sieverts, Zeitschr. f. physik. Chem. **60.** p. 129. 1907; W. Haeld, Physik. Rev. **24.** p. 269. 1907; M. Mayer u. V. Altmayer, Chem. Ber. **41.** p. 3062. 1908; A. Sieverts u. W. Hagenacker, Chem. Ber. **42.** p. 338. 1909 und Zeitschr. f. physik. Chem. **68.** p. 115. 1909; J. W. Mc Bain, Phil. Mag. **18.** p. 916. 1909.

für die Herstellung der Vakua treffend, die Kohle. Besondere Versuche zeigten, daß sich mit derselben eine Reihe aufeinander beziehbarer Versuche hintereinander ausführen lassen, wenn sie nach jedem Versuche im Vakuum längere Zeit bei 550° ausgeglüht sind (§ 5a). Für die Grundlage der Arbeit war weiterhin die Feststellung wesentlich, daß von der Größe der Kohlenstücke bis hinab zu feinstem Pulver die Absorption und ihr Verlauf mit Ausnahme der ersten Minuten unabhängig ist (§ 5b).

Die Untersuchungen fanden bei konstantem Druck statt, damit durch dessen Änderung nicht noch eine zweite Variable ins Spiel käme. Für Luft lagen die verwendeten Drucke zwischen 736 und 4,5 mm, der zeitliche Verlauf ließ sich, neben der graphischen Darstellung, auch durch eine Formel geben. Der Übergang zu tieferen Drucken bis zu 0,4 mm hinab verlangte die Anwendung reiner Gase, und zwar wurde Stickstoff und Sauerstoff gewählt, sowohl um Anschluß an die Versuche mit Luft bei höheren Drucken zu finden, als auch weil diese Gase in den wichtigsten Fällen die Hauptrolle spielen. Es fand sich hierbei, daß bei niederen Drucken der Sauerstoff etwa 30—40 mal so stark absorbiert wird wie der Stickstoff und daß das Absorptionsvermögen der Kohle bei verschiedenen Gasen in verschiedener Weise mit dem Druck variiert. Als Temperatur wurde, abgesehen von bei Zimmertemperatur ausgeführten Vorversuchen, die des schmelzenden Eises gewählt, da sich die großen Anforderungen an Konstanz der Temperatur nur auf diese Weise genügend erfüllen ließen.

Die im Vorstehenden skizzierte Untersuchung wurde auf Anregung von Hrn. Geheimrat Hallwachs im Physikalischen Institut der Technischen Hochschule Dresden ausgeführt.

§ 2. Die verwendete Kohle.

Als Versuchsmaterial diente die von Hrn. Baerwald[1]) empfohlene Kokosnußschalenkohle. Ihre Herstellung geschah auf folgende Weise:

Die zerkleinerten Schalen wurden in einem Blechgefäß unter Luftabschluß vor einer eben noch leuchtenden Gebläse-

1) H. Baerwald, Ann. d. Phys. 23. p. 84. 1907.

flamme so lange geglüht, bis sie keine brennbaren Gase mehr entwickelten, was in der Regel nach einer halben Stunde einzutreten pflegte. Die erhaltenen graphitähnlichen Stücke kamen in ein luftdicht zu verschließendes Glaßgefäß, wo sie bis zu den Versuchen verblieben. Vorher waren sie bis zu knapp Erbsengröße zerkleinert und durch ein Sieb von 2 mm Lochgröße von den entstandenen kleineren Stücken befreit worden.

Das spezifische Gewicht der Kohle in fein pulverisiertem Zustande ließ sich mit dem Pyknometer zu 1,51 bestimmen.

A. Versuche bei höheren Drucken.

§ 3. Die Versuchsanordnung.

Der Apparat ist in seinen wesentlichen Teilen in Fig. 1 skizziert:

Das aus schwer schmelzbarem Glas geblasene Absorptionsgefäß A bestand aus einem 30 mm langen und 13 mm weiten Rohr, in das durch ein eingesetztes 3 mm-Röhrchen von oben ein Thermoelement eingeführt werden konnte. Ein seitlich angebrachtes Rohr schloß das Gefäß durch den Schliff s und über den Hahn H_2 an die im übrigen aus leicht schmelzbarem Glas geblasene Anordnung an. Die Leitung mit dem Hahn H_1 führte nach der Toeplerpumpe. Den Hauptbestandteil des Apparates bildete das Schwefelsäuremeßrohr R_1 R_2, das zugleich zum Messen des absorbierten Gasvolumens und zum Konstanthalten des Druckes diente. R_1 und R_2 stellen zwei 85 cm lange, möglichst dicht senkrecht nebeneinander angebrachte Rohre dar, die an ihrem unteren Ende nach der aus der Skizze hervorgehenden Art miteinander und mit den Kugeln K_1 und K_2 verschmolzen waren. Die an R_1 geblasene Erweiterung g diente dazu, das zur Füllung des Absorptionsgefäßes und der zugehörigen Leitung nötige Gas vor dem Versuche zu fassen. In K_2 und in dem mit ihr durch einen Gummischlauch verbundenen Gefäß K befand sich Quecksilher. Der Schliff S, dessen Innenkonus zur Beseitigung des bei niedrigen Versuchsdrucken störenden Gasvolumens mit Paraffin

ausgegossen war, diente zum Einfüllen von Schwefelsäure in die Kugel K_1 und den Rest von K_2. Diese erhielt wegen ihrer geringeren Dichte dem Quecksilber gegenüber als Absperrflüssigkeit den Vorzug und wurde als solche bei geschlossenem S durch Heben von K in die Meßrohre hoch gedrückt. Durch Hahn H_5 konnte sie nach dem Gebrauche abgelassen werden. Übergeschichtetes Quecksilber schützte diesen Hahn während der Versuche vor der direkten Berührung mit der Säure. Das Rohr r verband R_2 am oberen Ende über den Hahn H_3 mit einer künstlichen Atmosphäre, die aus zwei direkt mit der Anordnung verblasenen Glaskugeln von ungefähr 50 cm Durchmesser bestand. Zum Evakuieren dieser Ballons diente eine mit einem Wechselstrommotor betriebene Bianchipumpe, die in Zeit von einer Stunde das 118 Liter betragende Volumen bis auf 2 cm auspumpte. Eine Gaedepumpe ließ in einer weiteren Stunde den Druck auf 4 mm herabmindern. Gemessen wurde dieser mit einem besonderen U-förmigen Manometer, das ganz aus Rohr von 8 mm Durchmesser bestand und sich so von 1—800 mm Druck verwenden ließ. Um durch Änderung der Zimmertemperatur hervorzurufende Druckschwankungen in den Ballons zu verhindern, befand sich jeder von ihnen in einer großen Kiste, ringsum mit einer mindestens 10 cm starken Holzwolleschicht verpackt.

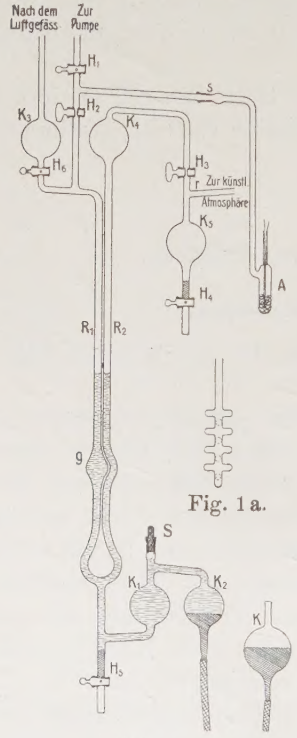


Fig. 1.

Fig. 1a.

Trotzdem das Arbeiten mit der Schwefelsäure im Vakuum mit großer Vorsicht vorgenommen wurde, machten sich doch verschiedene Sicherheitsvorrichtungen nötig. Über R_1 und R_2 waren die Kugeln K_3 und K_4 in die Leitung eingesetzt, welche die durch unvorsichtige Druckänderungen etwa zu hoch steigende

Säure aufnehmen konnten. Ging über K_4 noch Säure hinaus, so mußte sie in Kugel K_5 gelangen, von wo sie sich durch den Hahn H_4 mit der Wasserstrahlpumpe absaugen ließ. Der Hahn H_6 diente zum Zulassen der zu den Versuchen nötigen trockenen Luft aus einem mit Phosphorpentoxyd gefüllten Vorratsgefäß. Unter dem Hahn H_2 wurde keine Sicherheitskugel angebracht, um das Volumen von A und R_1 nicht unnötig zu vergrößern und so die während der Messung durch die Absorption entstehenden Druckunterschiede gegen die konstante Atmosphäre, auf Grund deren ja nur die Volumenänderung festzustellen war, nicht zu verringern. Sämtliche Rohrleitungen erhielten derartigen Fall, daß etwa überschießende Säure stets von selbst nach R_1 oder R_2 zurücklief.

Die von der Absorption hervorgerufenen Volumenänderungen konnte man folgendermaßen bestimmen. Die Quecksilberkugel K hing mit einer Schnur an einem 2 m langen einarmigen Hebel 20 cm von dem in der Nähe der Kugel K_1 befindlichen Drehpunkt. Das Ende des Hebels, an dem er durch eine an der Decke des Raumes über einen Porzellanring laufende Schnur mit Gegengewicht gehalten wurde, befand sich neben dem zur Beobachtung dienenden Kathetometer. Dieses ließ sich wegen der geringen Entfernung der Meßrohre voneinander so einstellen, daß beide Säuremenisken zugleich im Gesichtsfelde erschienen, vorausgesetzt natürlich, daß der Höhenunterschied zwischen ihnen unter einer gewissen Grenze lag. Geeignetes Verschieben des Fernrohrschlittens am Kathetometer während des Hebens und Senkens des Hebels gestattete so, die beiden Kuppen in ihren Bewegungen zu verfolgen, die wegen der Übertragung der Druckunterschiede durch den engen Quecksilberschlauch allerdings ziemlich träge vor sich gingen. Ein genaues Einstellen der Menisken bei der während der Versuche zur Verfügung stehenden kurzen Zeit war deshalb unmöglich. Versetzte man aber die Flüssigkeitssäulen durch Auf- und Abbewegen des Hebels in regelmäßige Schwingungen, so ließ sich das Kathetometer bequem so einstellen, daß beim Heruntergehen beide Menisken den horizontal gestellten Faden des Fernrohres gleichzeitig tangierten. Diese Höhenstellung des Fernrohres wurde dann abgelesen und mit der zugehörigen Zeit — dem Augenblick des Berührens — notiert. Unter der

Voraussetzung, daß der Querschnitt des Rohres als überall gleich groß angesehen werden konnte, erhielt man so die Volumenänderung durch die Absorption, und zwar entsprachen *6,32 mm* Kathetometerablesung *einem cm*^{3} Volumenänderung.

Zur Beleuchtung der Rohre R_1 und R_2 dienten zwei 32kerzige Wechselstromlampen, die in einer hinter dem Rohre aufgestellten großen Glasflasche hingen. Diese war durch einen Kork mit einem Gemisch von Pech und Wachs luftdicht verschlossen, und zwei eingekittete Rohre ermöglichten eine dauernde Kühlung der Lampen durch direkt von der Leitung durch die Flasche fließendes Wasser.

Zum Glühen der Kohle diente ein selbstangefertigter elektrischer Ofen. Eine Tonzelle von 12 cm Länge und 5,5 cm Durchmesser wurde mit einer 2,5 cm dicken Schicht von feuchtem Asbest fest umpackt. Auf eine zweite Zelle von 3 cm Durchmesser war ein 2 m langer Heizdraht aus 0,8 mm starkem Eisen aufgewickelt und ebenfalls mit einer feuchten Asbestschicht umgeben, die es eben noch gestattete, diese Zelle in die andere einzuschieben. Die Drahtenden wurden unten und oben aus dem Ofen herausgeführt und unter Zwischenschaltung eines Widerstandes von etwa 1 Ohm und eines Hitzdrahtamperemeters mit den Polen eines Spartransformators verbunden, der den zur Beleuchtung dienenden Wechselstrom aus der städtischen Zentrale von 110 auf 20 Volt herabtransformierte. Ein Strom von 8 Ampere trocknete den Asbest in einer Zeit von 10 Stunden. Beim Gebrauch erreichte der Ofen binnen einer Viertelstunde eine Temperatur von 600°. Sein Widerstand ging dabei von 1 auf ca. 4,5 Ohm hinauf. Die Möglichkeit, die innere Zelle mit dem Hitzdraht herauszunehmen, gestattete es, bei dem öfteren Durchbrennen des Drahtes diesen so zu erneuern, daß der Ofen nach einer halben Stunde wieder gebrauchsfertig war. Die Temperatur ließ sich mit dem schon am Anfang erwähnten in das Absorptionsgefäß eingeführten Silberkonstantan-Thermoelement in Verbindung mit einem Millivoltmeter von Siemens & Halske messen.

Schließlich sei hier noch die Bestimmung des Volumens des Absorptionsgefäßes A beschrieben. In R_1 wurde eine gewisse Gasmenge bei geschlossenem H_2 und H_6 abgesperrt, die Höhe der unterhalb der Erweiterung g gleichhoch ein-

spielenden Menisken bestimmt, dann R_1 durch H_2 mit dem auf 0,1 mm ausgepumpten A verbunden und nach dem Nachschieben der Säure die gleichhohe Stellung der Menisken wieder abgelesen. Das leere Absorptionsgefäß befand sich dabei in schmelzendem Eis. Die Differenz der beiden Ablesungen ergab das gesuchte Volumen in den am Kathetometer abgelesenen Längeneinheiten, eine Größe, in der das Volumen der Erweiterung g als additive Konstante enthalten war.

§ 4. Gang eines Versuches und Meßgenauigkeit.

Das Absorptionsgefäß A wurde, mit einer ausgewogenen Kohlemenge gefüllt, bei geschlossenem H_2 mit der Toeplerpumpe evakuiert und durch den Ofen erhitzt, bis das Millivoltmeter die verlangte Temperatur anzeigte, auf der der Ofen so lange verblieb, bis die Gasblasen im Fallrohr der immer betätigten Pumpe auf 0,5 cm Länge zurückgingen. Während sich nun nach dem Abstellen des Heizstromes bei geschlossenem H_1 die Kohle in A abkühlte, wurde in der künstlichen Atmosphäre der gewünschte Druck hergestellt und R_1 so weit mit Gas gefüllt, daß die Schwefelsäuremenisken unterhalb k auf gleiche mit dem Kathetometer abzulesende Höhe einspielten. Brachte man schließlich das Absorptionsgefäß in schmelzendes Eis, so war die Anordnung versuchsfertig. Der Hahn H_2 ließ sich durch einen 2 m langen dünnen Rundeisenstab, der, in zwei Führungen zentrisch drehbar, mit einer verbleiten Eisenblechfassung über den Griff des Hahnkükens faßte, von dem Kathetometerplatze aus bedienen und gestattete so eine schnelle Abwicklung der einzelnen zum Versuche nötigen Handgriffe und Beobachtungen. Beim Öffnen dieses Hahnes wurde an einer Taschenuhr mit Sekundenzeiger die Zeit bestimmt, dann der Hebel neben dem Kathetometer mit dem Quecksilbergefäß K so weit gehoben, daß sich die Menisken in R_1 und R_2 gleichhoch befanden und nach der oben beschriebenen Art die Ablesung vorgenommen. Es gelang meist nach 40 Sekunden, den ersten Wert zu fassen.

Die Fehler der Ablesungen lagen innerhalb der Grenze von $\pm$ 0,1 mm oder $\pm$ 0,02 ccm. Diese Genauigkeit mußte als weitaus genügend für die vorzunehmenden Messungen erachtet werden.

Es war denkbar, daß wesentliche Fehler durch die Inkonstanz des Vergleichsdruckes bedingt sein könnten, die ja durch die Veränderung des Volumens der künstlichen Atmosphäre beim Auf- und Absteigen der Flüssigkeitssäule in R_2 entstand. Zur Feststellung der Größe dieses Einflusses diente der folgende Versuch. Die Küken der Hähne H_3 und H_6 wurden entfernt, so daß bei jeder Stellung der Schwefelsäure in den beiden Ballons, in R_1 und R_2 Atmosphärendruck herrschen mußte, die Menisken auf ihre tiefste Stellung gebracht und ihr gleichhohes Einspielen mit dem Kathetometer kontrolliert. Verband man nun durch das Einsetzen des Kükens von H_3 das Meßrohr R_2 wieder mit den Kugeln und brachte die Säure durch das Aufwärtsbewegen des Hebels in ihre Höchststellung, so zeigte der sich ergebende Druckunterschied die Größe der Inkonstanz des Vergleichsdruckes an. Bei der entstandenen Volumänderung um 30,82 ccm betrug er 1,5 mm, dies entspricht einer Druckänderung von 0,03 Proz., ein Wert, der weit innerhalb der Grenze der übrigen Fehler lag.

Von wesentlichem Einfluß auf die Messung war die Temperatur der das Ganze umspülenden Zimmerluft. Die angewandten Vorsichtsmaßregeln konnten sich nur darauf beschränken, strahlende Wärme von dem Apparat fernzuhalten und durch ringsum aufgehangene Tücher die einzelnen verschieden warmen Strömungen regelmäßig zu gestalten. Schwankungen von 0,5° während der einstündigen Dauer des Versuches ließen sich nicht beseitigen. Um ihre Wirkung korrigieren zu können, befand sich direkt neben dem Meßrohr ein Projektionsthermometer mit 0,2-Gradeinteilung, das ermöglichte, mit einem neben dem Kathetometer angebrachten zweiten Fernrohr während der Versuche alle 5 Minuten die Temperatur abzulesen. Auf Grund von Vorversuchen war mit Hilfe der Gasgesetze eine Tabelle berechnet worden, die zu jedem am Rohre ablesbaren Volumen einen Korrektionswert angab, welcher die bei Temperaturen zwischen 16—19° vorgenommene Ablesung auf 18° zu reduzieren gestattete.

Die Umrechnung der Beobachtungen ergab sich somit wie folgt. Jeder abgelesene Wert, auch der vor dem Versuche, wurde nach der Tabelle auf 18° bezogen, dann das ebenfalls auf 18° berechnete Volumen des Absorptionsgefäßes zur Ab-

lesung vor dem Versuch hinzugezählt und das Volumen der verwendeten Kohle, in Kathetometereinheiten umgerechnet, davon subtrahiert. Der erhaltene Wert von den anderen der Reihe nach abgezogen, gab die in den entsprechenden Zeiten absorbierten Volumina. Multiplikationen mit dem Faktor $\frac{\text{Versuchsdruck}}{\text{Kohlemenge} \cdot 760 \cdot 6{,}32}$ führten schließlich zu dem absorbierten Volumen in ccm pro Gramm Kohle, reduziert auf 760 mm und 18,0°. 6,32 ist die dabei zur Umrechnung der Kathetometerablesung in ccm nötige Konstante (§ 3). In den Tabellen sind die Zahlen entsprechend angeführt. Bei den graphischen Darstellungen[1]) wurde die Zeit als Abszisse und die absorbierten Mengen in reduzierten ccm pro Gramm Kohle als Ordinaten aufgetragen.

§ 5. Vorversuche.

a) Die Heiztemperatur.

Die ersten mit der Anordnung anzustellenden Versuche bezweckten festzustellen, wie weit man die Kohle erhitzen müsse, um sie mehrmals hintereinander unter konstanten Bedingungen dieselbe Absorptionskurve liefern zu lassen. Das Evakuieren während des Erhitzens sollte dabei so weit getrieben werden, wie es die dazu verwandte Toeplerpumpe bei der ja stets erfolgenden Gasabgabe der heißen Kohle gestattete.

Orientierende Versuche zeigten zunächst, daß die gewünschte Übereinstimmung sich mit Temperaturen unter 500° nicht erreichen ließ, daß man ihr aber mit steigender Glühtemperatur näher kam. Bei 550° gelang es schließlich, zwei die Versuche darstellende Kurven zu erhalten, die sich nach der vorgenommenen Reduktion genügend deckten.

Bei sämtlichen anzustellenden Versuchen wurde deshalb die Kohle auf 550° erhitzt.

Die erhaltenen Werte sind in Tabelle I niedergelegt, Doppelkurve *a* auf Taf. I zeigt, wieweit sich die erstrebte Übereinstimmung erreichen ließ.

---

1) Taf. I, p. 15.

Tabelle I.

Vorversuch 1.

Luft in 1,100 g Kohle in Stücken. Druck 752,94 mm.

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen ccm
10h 25′ 0″	15,53	—	554,9	0,0	0,00
45	—	691,75	688,8	131,9	19,08
27 0	—	701,52	698,5	143,6	20,47
36	15,54	703,94	700,9	146,0	20,81
29 0	—	707,20	704,2	149,7	21,34
30 0	—	708,30	705,3	150,4	21,44
45	15,55	709,50	706,3	151,6	21,61
32 0	—	710,78	707,9	135,0	21,81
34 0	15,55	712,25	709,4	154,5	22,02
36 0	15,55	713,55	710,7	155,8	22,20
38 0	—	714,62	711,8	156,9	22,36
40 0	15,60	715,45	712,7	157,8	22,49
42 30	—	716,60	713,8	158,9	22,65
45 0	15,61	717,55	714,8	159,9	22,79
50 0	15,64	719,25	716,5	161,6	23,03
55 0	15,66	720,50	717,7	162,8	23,20
11 0 0	15,67	721,62	718,8	163,9	23,36
5 0	15,70	722,76	719,9	165,0	23,52
10 0	15,71	723,78	721,0	166,1	23,67
15 0	15,73	724,67	722,9	167,0	23,80
20 0	15,72	725,46	722,7	167,8	23,90
25 0	15,71	726,26	723,5	168,6	24,03

Vorversuch 2.

Luft in 1,100 g Kohle in Stücken. Druck 752,70 mm.

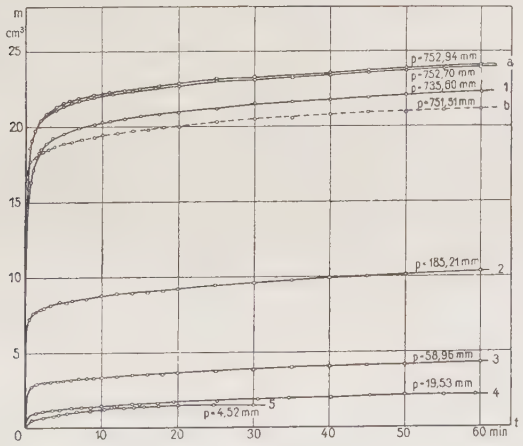
5h 0′ 0″	16,57	—	576,2	0,0	0,00
40	—	707,80	706,0	129,8	18,49
1 15	—	716,46	714,7	138,5	19,73
2 0	—	721,21	719,4	143,2	20,40
45	—	724,02	722,3	146,1	20,81
4 0	—	725,09	724,2	148,0	21,08
5 0	16,55	727,52	725,9	149,7	21,32
6 0	—	729,08	727,5	151,3	21,55
7 0	—	729,72	728,1	151,9	21,64
8 10	—	730,90	729,3	153,1	21,81

Tabelle I.

Vorversuch 2 (Fortsetzung).

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen ccm
5h 9′ 0″	16,55	731,30	729,7	153,5	21,87
11 30	—	733,10	731,5	155,3	22,12
14 0	16,50	734,24	732,6	156,4	22,28
17 0	—	735,66	734,0	157,8	22,48
20 0	16,44	736,94	735,2	159,0	22,65
25 0	16,42	738,38	736,7	160,5	22,86
30 0	16,42	739,89	738,2	162,0	23,08
35 0	16,41	741,11	739,4	163,2	23,25
40 0	16,41	742,21	740,5	164,3	23,40
45 0	16,37	743,32	741,6	165,4	23,56
50 0	16,32	744,22	742,4	166,2	23,68
55 0	16,25	745,30	734,5	167,3	23,83
6 0 0	16,23	745,95	744,0	167,8	23,90

Tafel I.



Luftversuche.

m = vom Gramm Kohle absorbiertes Volumen in ccm reduziert auf 760 mm und 18°.

t = Zeit.

Kurven a = Heizversuche,
„ b = Pulverversuch,
„ 1—5 = Hauptversuche.

b) Einfluß der Korngröße.

An zweiter Stelle folgten Versuche, die den Einfluß der Korngröße der Kohle auf den zeitlichen Verlauf der Gasaufnahme zeigen sollten. Untersuchungen von Baerwald[1]) hatten bereits ergeben, daß eine Vergrößerung der sichtbaren Kohleoberfläche auf ca. das Doppelte oder Dreifache die insgesamt aufgenommene Gasmenge nicht beeinflußt. Am Anfang der vorliegenden Arbeit ausgeführte Versuche, bei denen es mit Hilfe eines besonderen Absorptionsgefäßes möglich war, die Kohle während des Versuches selbst ohne irgendwelche Volumenänderung der Anordnung zu zerbrechen, hatten des weiteren ergeben, daß die so bewirkte Oberflächenvergrößerung bis zu 30 Proz. auf den zeitlichen Verlauf der Absorption keinerlei Einwirkung hatte. Es muß dabei allerdings bemerkt werden, daß die besondere Gestaltung des Absorptionsgefäßes ein Glühen der Kohle im Vakuum nicht gestattete und so eine wesentliche Vorbedingung bei der Deutung der Resultate wegfiel.

Bei den entscheidenden Versuchen wurde deshalb von der Zerbrechungsmethode wieder abgegangen und einfach fast unfühlbar fein gepulverte Kohle zur Absorption verwandt. Baerwald hatte in seiner eben erwähnten Arbeit gefunden, daß die von der Gewichtseinheit Kohle absorbierte Gasmenge durch das Pulverisieren auf ungefähr die Hälfte der von erbsengroßen Stücken aufgenommenen zurückgeht. Er führt diese Erscheinung auf den durch das Anhäufen des Kohlepulvers entstehenden großen Widerstand zurück, den die dicht aneinander liegenden Teilchen dem Gase bei der Diffusion von der sichtbaren Oberfläche der im Gefäßchen befindlichen Schicht nach den über das Ganze verbreiteten absorbierenden Einzelteilchen entgegensetzen. Die Kohle wurde deshalb hier in einem besonderen quirlförmig verzweigten Rohre (vgl. Fig. 1 a)[2]) nach Möglichkeit verteilt und so zur Absorption gebracht. Tab. I, 3 gibt einen der angestellten Versuche wieder. Aus der graphischen Darstellung (Taf. I, Kurve *b*) ersieht man, daß der Vorgang im wesentlichen ebenso verläuft wie bei gröberen Kohlestücken.

1) H. Baerwald, l. c. p. 6.
2) Vgl. p. 8.

Tabelle I.

Vorversuch 3.

Luft in 0,57 g Kohle in Pulver. Druck 751,51 mm.

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen ccm
1h 5′ 0″	19,10	—	557,0	0,0	0,00
45	—	619,8	621,4	64,4	17,68
6 30	—	620,7	622,3	65,3	17,92
7 15	—	622,3	623,9	66,9	18,36
8 0	—	622,9	624,5	67,5	18,53
8 40	—	623,3	624,9	67,9	18,64
10 0	19,06	624,0	625,6	68,6	18,83
11 0	—	624,6	622,2	69,2	18,99
12 24	—	625,1	626,7	69,7	19,13
13 54	—	625,8	627,4	70,4	19,32
15 00	19,03	626,1	627,7	70,7	19,41
17 0	—	626,6	628,2	71,2	19,54
19 0	19,00	627,2	628,7	71,7	19,68
21 0	—	627,7	629,2	72,2	19,82
23 0	—	628,8	629,5	72,5	19,90
25 0	19,00	628,3	629,8	72,8	19,98
30 0	19,00	629,2	630,7	73,7	20,23
35 0	19,00	630,0	631,5	74,5	20,45
40 0	19,00	630,4	631,9	74,9	20,56
45 0	19,00	631,1	632,6	75,6	20,75
50 0	19,00	631,6	633,1	76,1	20,89
55 0	19,00	632,0	633,4	76,4	20,97
2 0 0	19,00	632,3	633,7	76,7	21,05
5 0	19,00	632,6	634,0	77,0	21,14

Beim Beginn des Glühens und Auspumpens des Absorptionsgefäßes verbreitete sich stets ein Teil des Kohlepulvers an den Wandungen der Glasleitung außerhalb des Ofens. Es konnte ihm dort wegen der mangelnden Erwärmung nicht alles Gas vor dem Versuche entzogen werden, und die im Vergleich mit den anderen Messungen (vgl. Taf. I)[1]) geringere absorbierte Gesamtmenge findet so ihre Erklärung.

1) Vgl. p. 15.

§ 6. Die eigentlichen Versuchsergebnisse.

Die Kohle wurde in fünf Versuchen nacheinander bei den Drucken $p = 735{,}6$, 185,21, 58,96, 19,53 und 4,52 mm zur Absorption von Luft gebracht. Tab. II gibt die erhaltenen Resultate. Um weitere Anwendungen derselben zu erleichtern, wurde der Verlauf der Absorption auch analytisch dargestellt. Die zur Zeit t absorbierte Menge m ergab sich aus den Konstanten m_1, m_2, a und b als

$$m = m_1 \frac{t}{a + t} + m_2 \frac{t}{b + t}.$$

Tabelle II.

Versuch 1.

Luft in 1,00 g Kohle in Stücken. Druck 735,6 mm.

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen beob. ccm	Volumen ber. ccm
9h 30′ 0″	17,10	—	529,1	0,0	0,00	0,00
45	—	636,70	635,6	106,5	16,31	—
31 0	—	—	—	—	17,15 [1]	17,15
40	—	648,45	648,4	119,3	18,27	—
32 0	—	—	—	—	18,45 [1]	18,55
40	—	653,18	652,1	123,0	18,84	—
33 40	—	656,01	654,9	125,8	19,27	—
35 0	17,20	658,00	656,9	127,8	19,56	19,46
37 0	—	660,00	668,9	129,8	19,87	—
39 0	—	661,36	660,3	131,2	20,09	—
40 0	17,22	—	—	—	20,23 [1]	20,24
41 0	—	662,69	661,6	132,5	20,33	—
43 0	—	663,74	662,6	133,5	20,49	—
45 0	17,22	664,79	663,7	134,6	20,62	—
47 30	—	665,89	664,8	135,7	20,77	—
50 0	17,24	666,84	665,8	136,7	20,93	20,89
55 0	17,26	668,25	667,3	138,2	21,17	—
10 0 0	17,31	669,76	668,9	139,8	21,47	21,36
5 0	17,35	670,86	670,0	140,9	21,58	—
10 0	17,37	671,94	671,1	142,0	21,78	—
15 0	17,38	672,79	672,0	142,9	21,88	—
20 0	17,41	673,52	672,8	143,7	22,01	—
30 0	17,44	675,29	674,6	145,5	22,28	22,35

1) Der graphischen Darstellung entnommen.

Tabelle II.

Versuch 2.

Luft in 1,00 g Kohle in Stücken. Druck 185,21 mm.

Zeit	Außen-temperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen beob. ccm	Volumen ber. ccm
1h 0′ 0″	17,60	—	506,2	0,0	0,00	0,00
35	—	695,38	694,9	188,7	7,26	—
1 0	—	—	—	—	7,61 [1])	7,587
25	—	706,19	705,7	199,5	7,69	—
2 0	—	—	—	—	7,85 [1])	7,85
24	—	713,08	712,6	206,4	7,96	—
3 10	—	716,24	715,9	209,7	8,09	—
4 20	—	721,91	721,5	215,3	8,31	—
5 0	17,60	722,38	722,0	215,8	8,52	8,34
6 6	—	725,49	725,1	218,9	8,43	—
8 0	—	729,29	728,9	222,7	8,59	—
10 0	17,61	733,02	732,6	226,4	8,73	8,70
12 0	—	736,36	736,0	229,8	8,86	—
14 0	—	739,16	738,8	232,6	8,92	—
16 0	17,62	742,34	741,9	235,7	8,97	—
18 0	—	744,04	743,3	237,4	9,08	—
20 0	17,63	745,74	745,2	239,0	9,21	9,21
25 0	17,63	750,73	750,2	244,0	9,41	—
30 0	17,62	755,20	754,8	248,6	9,59	9,57
35 0	17,61	759,05	758,7	252,5	9,73	—
40 0	17,57	762,66	762,3	256,1	9,87	—
45 0	17,56	765,92	765,5	259,3	10,00	—
50 0	17,56	768,29	767,9	261,7	10,13	—
60 0	17,58	774,00	773,6	267,4	10,30	10,34

Versuch 3.

Luft in 1,00 g Kohle in Stücken. Druck 58,96 mm.

6h15′ 0″	17,54	—	507,0	0,0	0,00	—
50	—	729,80	729,4	222,4	2,76	—
16 0	—	—	—	—	—	2,801
16 30	—	739,00	738,6	234,8	2,87	—
17 0	—	—	—	—	—	2,937
17 30	—	747,06	746,7	241,9	2,97	—
18 15	—	752,26	751,9	248,1	3,03	—
19 12	—	756,70	756,3	252,5	3,09	—
20 0	17,52	760,81	760,4	256,6	3,14	3,114
21 0	—	765,52	765,1	261,3	3,19	—
22 0	—	768,05	767,7	263,9	3,22	—
23 0	—	771,48	771,1	267,3	3,27	—
24 0	—	774,38	774,0	270,2	3,30	—
25 0	17,49	777,70	776,7	272,9	3,35	3,313
27 0	—	782,38	781,9	278,1	3,40	—

1) Vgl. p. 18, Anm. 1.

Tabelle II.

Versuch 3 (Fortsetzung).

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen beob. ccm	Volumen ber. ccm
6h 29′ 0″	17,47	786,62	786,1	282,3	3,45	—
31 0	—	791,02	790,5	286,7	3,50	—
33 0	—	795,59	795,1	291,3	3,56	—
35 0	17,45	799,06	798,6	294,8	3,60	3,604
40 0	17,45	808,22	806,7	302,9	3,70	—
45 0	17,45	816,36	814,9	311,1	3,80	3,822
50 0	17,46	822,56	822,1	318,3	3,89	—
55 0	17,46	829,32	828,8	325,0	3,97	—
7 0 0	17,47	835,44	834,9	331,1	4,05	—
5 0	17,48	840,78	840,3	336,5	4,11	—
15 0	17,48	851,34	851,8	384,0	4,25	4,256

Versuch 4.

Luft in 0,50 g Kohle in Stücken. Druck 19,53 mm.

5h 0′ 0″	17,36	—	494,7	0,0	0,00	—
0	—	—	—	—	—	0,962
1 20	—	648,1	647,0	152,3	1,08	—
2 0	—	—	—	—	—	1,044
12	—	656,6	655,6	160,9	1,04	—
3 36	—	673,0	672,0	177,3	1,16	—
4 30	—	678,6	677,6	182,9	1,20	—
5 0	—	—	—	—	—	1,226
6 0	17,30	691,3	690,4	195,7	1,28	—
7 15	—	697,5	696,6	201,7	1,32	—
8 20	—	703,4	702,4	207,7	1,36	—
10 0	17,27	712,0	711,0	216,3	1,42	1,442
12 0	—	719,9	719,0	224,3	1,46	—
14 0	—	731,6	730,7	236,0	1,55	—
15 0	17,25	735,1	734,2	239,5	1,57	—
17 24	—	742,2	741,3	246,6	1,62	—
19 45	17,22	750,8	750,0	750,3	1,67	—
20 0	—	—	—	—	—	1,709
25 15	17,25	768,3	767,5	272,8	1,79	—
30 0	—	—	—	—	—	1,869
40	17,27	777,6	776,8	282,1	1,85	—
34 40	17,27	788,2	787,5	292,8	1,92	—
40 15	17,27	797,6	796,9	302,2	1,98	—
45 15	17,26	803,3	802,6	307,9	2,02	—
50 0	17,24	808,3	807,7	313,0	2,05	—
55 18	17,20	813,1	812,5	317,8	2,08	—
59 20	17,20	817,5	817,0	322,3	2,11	—
60 0	—	—	—	—	—	2,119

Tabelle II.

Versuch 5.

Luft in 0,15 g Kohle in Stücken. Druck 4,52 mm.

Zeit	Außentemperatur Grad	Ablesung mm	Ablesung red. auf 18° mm	Differenz mm	Volumen ccm
9h 0′ 0″	17,26	—	507,4	0,0	0,00
55	—	574,6	575,4	68,0	0,42
2 15	—	609,7	608,6	101,2	0,63
3 56	—	629,0	627,9	120,5	0,75
4 15	—	646,3	645,3	137,9	0,86
5 30	17,26	667,2	666,3	158,9	0,99
6 45	—	679,6	678,7	171,3	1,07
8 30	—	695,8	694,9	187,5	1,17
10 10	17,26	709,4	708,5	201,1	1,25
11 15	—	720,1	719,3	211,9	1,32
13 0	—	726,8	726,0	218,6	1,36
14 10	—	730,0	729,2	221,8	1,38
15 36	17,26	737,8	737,0	229,6	1,43
17 30	—	742,9	742,2	234,8	1,46
20 0	17,28	745,4	744,7	237,3	1,48
24 45	17,30	747,6	747,0	239,6	1,49
30 0	17,31	747,7	747,1	239,7	1,49

Die Auswertung dieser Konstanten erfolgte durch Ausgleichungsrechnung und gab folgende Zahlen:

p	m_1	m_2	a	b
735,6	19,99	6,44	0,17	100
185,2	8,11	3,94	0,08	50
58,96	2,95	2,49	0,05	55
19,53	0,91	1,60	0,02	20

Die aus den Formeln berechneten Einzelwerte der absorbierten Menge m sind in den Tabellen neben den beobachteten eingetragen und haben auch zum Zeichnen der den Gang der vier Versuche darstellenden Kurven auf Taf. I[1]) gedient.

1) Vgl. p. 15.

Die kleinen Kreise markieren die dazu gehörenden, beobachteten Punkte. Die fünfte Kurve für $p = 4{,}52$ mm ist wegen der im folgenden noch zu erwähnenden Unsicherheit nicht gerechnet und in der Zeichnung deshalb nur auf Grund der Lage der beobachteten Punkte ausgezogen.

Weiter wurde versucht, die Veränderung jeder der vier einzelnen Konstanten von Druck zu Druck als Funktion von diesem auszudrücken, um so eine Endformel zu erlangen, in der die absorbierte Menge als Funktion von Druck und Zeit zugleich dargestellt würde. Dabei ergaben sich aber keine einfachen Beziehungen. Die Hoffnung, daß bei den weiteren mit niedrigeren Drucken durchzuführenden Versuchen die Verhältnisse der drei Größen untereinander sich übersichtlicher gestalteten, ließ auch von weiteren vereinfachenden Rechnungen Abstand nehmen. Ein Blick auf Taf. I[1]) zeigt, daß der bei dem kleinsten Drucke angestellte Versuch 5 durch eine Kurve dargestellt wird, die sich bequem durch die Gleichung $m = m_0(1 - e^{-\alpha t})$ ausdrücken läßt. Aus den in den folgenden Paragraphen zu beschreibenden Versuchen ging aber hervor, daß die einfache Form der Kurven ihren Grund in einer besonderen Erscheinung hatte, in dem selektiven Verhalten der Kohle der Luft gegenüber. Bei niederen Drucken nämlich nimmt die Kohle beträchtlich mehr Sauerstoff auf als Stickstoff, ein Vorgang, auf dessen Verlauf das Volumen der Anordnung und die angewandte Menge Kohle wesentlich einwirken. Da diese beiden Größen sich nun wohl bei den Versuchen dieser Arbeit konstant halten ließen, in jedem anderen praktisch gegebenen Falle im allgemeinen aber anders sein mußten, war eine analytische Darstellung der hier gewonnenen Resultate in dem Gebiete der niederen Drucke als zu speziell zu verwerfen. Die für höhere Drucke angestellten Rechnungen jedoch konnten nach den in § 10 zu gebenden Ausführungen bestehen bleiben.

Mit dem bei $p = 5{,}42$ mm ausgeführten Versuche war der niedrigste in der Anordnung zu verwendende Druck erreicht. Für die weiteren bis zu 0,4 mm hinunter gehenden Untersuchungen machte sich der Bau eines neuen Apparates nötig.

1) Vgl. p. 15.

Einmal mußte bei diesem das bisher zum Konstanthalten des Druckes verwandte Schwefelsäuremeßrohr durch ein im Vakuum als Nullinstrument sehr sicher arbeitendes elektrisches Widerstandsmanometer ersetzt werden, und zum andern galt es, noch den folgenden Mangel zu beseitigen. Die Ausmessungen der ersten Anordnung waren auf Grund der verhandenen Daten anderer Arbeiten so gewählt, daß sich die Versuche bei Drucken von 760 bis 60 mm sehr gut damit ausführen ließen. Bei der weiteren Erniedrigung bis zu 5 mm aber steigerte sich das von der Einheit der Kohlemenge aufgenommene Gasvolumen infolge seiner geringen Dichte so stark, daß das Gewicht der verwandten Kohle beträchtlich verkleinert werden mußte, wenn das zu absorbierende Gas vor dem Versuch überhaupt in dem Apparate untergebracht werden sollte. Bei dieser so bedingten großen Verminderung von 1 g auf 0,15 g konnten aber unter den wenigen verbleibenden Stücken sehr gut einige sein, die die Gesamteigenschaft der Kohle durch ihre zufällig für die Absorption besonders günstige oder ungünstige Beschaffenheit wesentlich veränderten und deshalb einen quantitativen Vergleich der erhaltenen Resultate untereinander sehr unsicher machten.

Dieser Nachteil, der sich bei den nun vorzunehmenden weiteren Druckerniedrigungen noch störender bemerkbar machen mußte, ließ sich durch die gehörige Vergrößerung des Meßrohrvolumens allein nicht beseitigen. Es wurden deshalb besondere Nachfüllgefäße angebracht, in denen die nötige Gasmenge unter höherem Drucke aufbewahrt und zur gegebenen Zeit zum Meßrohr zugelassen werden konnte.

B. Versuche bei niederen Drucken.

§ 7. Die Versuchsanordnung. (Vgl. Fig. 2.)

Das aus schwer schmelzbarem Glas bestehende Gefäß *A*, das die zur Absorption verwandte Kohle enthielt, glich dem früher benutzten. Die Zuleitung war wie alle anderen während der Messung selbst mit dem Kohlegefäß verbundenen Rohre auf 12 mm Durchmesser erweitert. Zum Evakuieren diente

eine Gaedepumpe, die durch den Quecksilberverschluß Q abgesperrt werden konnte; der mit 5 mm weiter Bohrung versehene besonders große Hahn H schloß A an die übrige Anordnung an, bei der im Gegensatz zu früher das Meßrohr M von dem Druckinstrument D getrennt war. M bestand aus einem 70 cm langen Glasrohr von ca. 2 cm Durchmesser mit

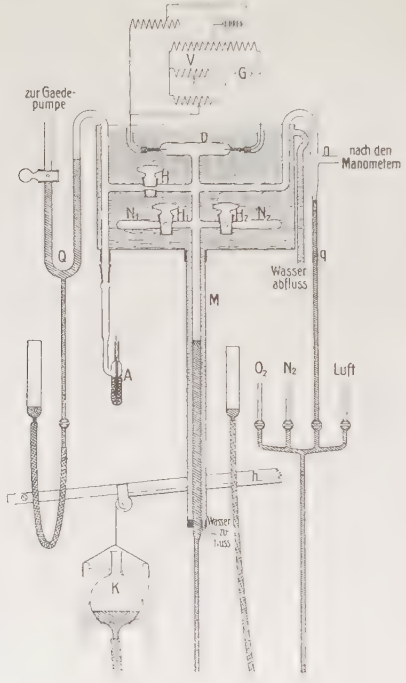


Fig. 2.

austariertem Volumen. Das in ihm enthaltene Gas wurde zur Konstanthaltung des Druckes während der Absorption durch Heben des Gefäßes K von dem als Absperrflüssigkeit dienenden Quecksilber nach A verschoben. Die entstehende Volumänderung ließ sich durch Ablesen der Höhenstellung der Quecksilbersäule mit dem 1,5 m entfernt aufgestellten Kathetometer bestimmen, von dem aus man auch durch Bewegen des Hebels h in der aus der Skizze ersichtlichen Weise das Gefäß K heben bzw. senken konnte. N_1 und N_2 waren

die beiden schon oben erwähnten mit Quecksilber austarierten Nachfüllgefäße. Das in ihnen vor Beginn des Versuches unter entsprechend höherem Drucke aufgespeicherte Gas konnte durch Öffnen von H_1 bzw. H_2 während der Messung ausgelassen werden und bedingte so eine zu berechnende Vermehrung des Hauptvolumens. Die verwandten Gase gelangten über den Quecksilberverschluß q aus den einzelnen Vorratsgefäßen in die Anordnung, und die nötigen absoluten Drucke wurden mit einem durch das Rohr u angeschlossenen, abgekürzten Quecksilbermanometer oder einem Manometer nach Mac Leod bestimmt. Das Druckrohr D diente dabei nur als Nullinstrument für den während einer Messung konstant zu haltenden Druck. Es bestand im wesentlichen aus einem in ein Glasrohr von 3 cm Durchmesser luftdicht eingekitteten 0,03 mm starken und 12 cm langen Platindraht. Dieser bildete in der aus der Figur ersichtlichen Art den einen Zweig einer Wheatstoneschen Brücke. Der nötige Meßstrom wurde vier parallel liegenden Gruppen der Institutsbatterie von je fünf hintereinandergeschalteten Akkumulatoren von je 80 Ampèrestunden Kapazität entnommen und über einen Vorschaltwiderstand von ca. 40 Ohm geleitet. Bei der so an seinen Enden liegenden Spannungsdifferenz von ca. 2 Volt, deren Konstanz an einem Millivoltmeter kontrolliert wurde, änderte der Draht seinen Widerstand in Abhängigkeit von der Dichte bzw. dem Druck des ihn umgebenden Gases.[1]) Der auf einer Skala vor dem oben erwähnten Kathetometer spielende Lichtzeiger des empfindlichen Drehspulengalvanometers G zeigte durch die Abweichung von seiner Nullstellung mit der weiter unten anzugebenden beträchtlichen Empfindlichkeit die geringen Schwankungen des Versuchsdruckes an. Diese waren nicht zu beseitigen, da ja das Quecksilber im Meßrohr M nur zeitweise nachgeschoben werden konnte. Die Widerstände der Brückenanordnung mußten für jeden Versuch entsprechend verändert werden.

Da bei den angewandten Versuchsdrucken bis zu 1 cm herauf die Meßanordnung sich auf die während der einstündigen Dauer der Versuche nicht zu vermeidenden Schwankungen der Zimmertemperatur um mehrere Zehntelgrade empfindlicher

1) M. v. Pirani, Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. 8. p. 690. 1906.

zeigte als auf die zu beobachtenden geringen Druckabweichungen, wurde es nötig, den ganzen Apparat, wie es aus der Zeichnung ersichtlich ist, mit einem Bade von fließendem Leitungswasser zu umgeben. Auf diese Weise ließ sich die Temperatur auf Grund der Ablesungen an einem in der Nähe von D aufgehangenen Thermometer eine Stunde lang auf Hundertstelgrade konstant halten. Die wie der ganze Apparat natürlich auch unter Wasser gesetzten Hähne H, H_1 und H_2 mußten durch angepichte große in der Figur ausgelassene Holzkelche vor der dauernden Berührung mit dem Wasser geschützt werden, da das verwandte Fett (eine Mischung von gelber Vaseline und weißem Wachs) sonst sehr schnell nicht mehr dichtete. Es ließ sich dies ausführen, da die Oberfläche des Wassers wenige Zentimeter über den mit der Bohrung horizontal gestellten Hähnen lag und die oben offenen Kelche sie deshalb überragten.

Die ganze Anordnung wurde vor Beginn der Messungen ohne Kohle auf Röntgenvakuum evakuiert und zwei Tage stehen gelassen. Die elektrischen Entladungen in dem zwischen Gaedepumpe und Quecksilberverschluß Q angesetzten Hittorfschen Rohre zeigten keinen wesentlichen Rückgang des Druckes in dieser Zeit an.

§ 8. Gang und Kritik der Messung.

Nach dem Einfüllen einer ausgewogenen Kohlemenge in das Absorptionsgefäß A wurde die ganze Anordnung auf 0,01 mm ausgepumpt, dann bei geschlossenem H durch den Quecksilberverschluß q solange Gas eingelassen, bis es den zum Füllen von N_1 und N_2 nötigen Druck p' erreicht hatte. Dieser wurde gemessen, Verschluß q, Hahn H_1 und H_2 geschlossen und H so lange geöffnet, bis durch Abströmen der überflüssigen Gasmenge im Meßrohr M und Manometer D der gewünschte Versuchsdruck p herrschte. Darauf begann bei fortwährendem Arbeiten der Gaedepumpe das Ausglühen der Kohle im elektrischen Ofen in der schon bei den Versuchen mit der anderen Anordnung beschriebenen Art. Zu derselben Zeit wurde die Brückenschaltung für den Druck p ausgeglichen und dabei der Vorschaltwiderstand V vor dem Galvanometer so gewählt, daß einer Verschiebung des Quecksilbers in M um 1 mm ein

Ausschlag des Lichtzeigers von ungefähr 0,5 cm entsprach. Diese Volumenänderung verursachte eine Schwankung des Gesamtdruckes um 0,05 Proz., da das in Betracht kommende Gesamtvolumen der Anordnung bei der höchsten ablesbaren Quecksilberstellung 1780 *M*-Einheiten betrug. Eine *M*-Einheit war die zur Abkürzung eingeführte Bezeichnung des Volumens eines 1 mm langen Stückes des Meßrohres *M*. Da die Widerstandsänderungen des Drahtes bei Druckschwankungen mit steigendem Versuchsdruck beträchtlich abnahmen, mußte man, um stets dieselbe eben definierte Empfindlichkeit der Gesamtanordnung zu erhalten, den Vorschaltwiderstand *V* bei steigenden Versuchsdrucken verringern, die Galvanometerempfindlichkeit also vergrößern. Die Einflüsse der Schwankungen der Wasserbadtemperatur auf den Widerstand des Drahtes blieben für alle Drucke annähernd konstant, wirkten aber natürlich auf das Galvanometer bei seinen verschiedenen Empfindlichkeiten verschieden. Bei niederen Drucken, etwa bis zu 2 mm herauf, waren daher die Temperaturänderungen innerhalb 0,03 Grad zu vernachlässigen, bei größerem p aber bedingten sie eine Korrektion, die auf Grund der angestellten Beobachtungen einer Volumenänderung von 10 *M*-Einheiten pro 0,01 Grad für $p = 9{,}66$ mm gleich kamen. Dabei konnten sie aber nur an der Stelle gemessen werden, wo sich das Thermometer befand. Plötzlich auftretende wärmere oder kältere Strömungen ließen sich trotz eines in das Bad eingesetzten Schraubenrührers nicht verhindern, und die sich dadurch ergebenden Unsicherheiten machten es unmöglich, das untersuchte Gebiet über den erreichten Höchstdruck von 9,6 mm hinaus noch zu erweitern.

Nach beendetem Ausglühen arbeitete beim Sinken der Temperatur des Ofens die Gaedepumpe noch so lange weiter, bis das Entladungsrohr einen Druck von 0,01 mm anzeigte. Dies geschah bei ungefähr 420°. Dann erst wurde *Q* geschlossen, der Ofen entfernt und *A* mit schmelzendem Eis umgeben. Je nach der Kohlemenge hatte sich nach 15—45 Minuten die Temperatur des Absorptionsgefäßes so weit ausgeglichen, daß der Versuch beginnen konnte. Zur Ablesung diente dabei das zur Messung der Glühtemperatur verwandte Thermoelement in Verbindung mit einem Millivoltmeter. Das Volumen des Absorptionsgefäßes bis zu *II*, das bei dem Ver-

suche erst von dem zu absorbierenden Gas erfüllt werden mußte, war nach der früher angewandten Art zu 521 *M*-Einheiten bestimmt worden. An Stelle dieser Größe trat in der Rechnung stets das korrigierte Volumen

$$a = (521 - k)\left(1 - \frac{0{,}01}{p}\right).$$

Dabei bedeutete k das Volumen der verwandten Kohle in *M*-Einheiten und p den Versuchsdruck; 0,01 mm betrug, wie oben erwähnt, das im Absorptionsgefäß erreichte Vakuum. Der niedrigste Versuchsdruck belief sich auf $p = 0{,}358$ mm. Noch tiefere Drucke wurden nicht gewählt, da man dann nicht mehr sicher war, ob die Gaedepumpe während des Glühens die Kohlestücke derartig weit entgaste, daß der in diesen noch enthaltene Rest der bei den niederen Versuchsdrucken absorbierten geringen Gasmenge gegenüber vernachlässigt werden konnte, d. h. ob man die Kohle in dem Zustande direkt vor der Absorption dem Zustande nach derselben gegenüber als gasfrei bezeichnen durfte.

Das eben definierte a wurde zu der möglichst niedrig gewählten, am Kathetometer abzulesenden Quecksilberstellung h' im Meßrohr *M* addiert. Das Volumen des durch das Öffnen von H_1 bzw. H_2 freiwerdenden Gases bei dem Druck p in *M*-Einheiten von dieser Summe abgezogen, ergab die Anfangsstellung h_0.

Nachdem dann eine Vergrößerung des Vorschaltwiderstandes *V* die Empfindlichkeit der Brückenanordnung vorübergehend herabgesetzt hatte und das Nachfüllgefäß N_1 bzw. N_2 mit dem Meßrohr *M* verbunden worden war, begann der eigentliche Versuch mit dem zu bestimmter Zeit vorgenommenen Öffnen des Hahnes *H*. Unter allmählicher Vergrößerung der Galvanometerempfindlichkeit stellte man dann das Quecksilber in *M* so ein, daß der Zeiger bei größter Empfindlichkeit derartig in die Nähe der Nullstellung kam, daß die weitere durch die Absorption bewirkte geringe Druckverminderung ihn nach dieser hin bewegte. Die Quecksilberstellung wurde abgelesen und dazu der Zeitpunkt genommen, zu dem der Zeiger eben durch Null hindurchging. Durch entsprechendes Nachschieben ließen sich die weiteren Ablesungen in derselben Art ausführen.

Hatte das Quecksilber seine Höchststellung erreicht, so wurde die Empfindlichkeit des Galvanometers wieder verringert, das zweite Nachfüllgefäß geöffnet und die Quecksilbersäule wie zu Anfang entsprechend gesenkt.

Die Diagramme zeigen, wie gut man die einzelnen Teile der erhaltenen Kurven zusammensetzen kann, wenn man bei der Umrechnung der Volumina eine auf Grund entsprechender Vorversuche bestimmte Fehlergröße von $\pm$ 1 Proz. bei den Druckmessungen mit Mac Leod- und dem Schenkelmanometer zuläßt.

In den die einzelnen Versuchsresultate wiedergebenden Tabellen[1]) sind die folgenden Bezeichnungen verwendet. Es ist

p der Versuchsdruck,
p' der Druck in den Nachfüllgefäßen,
v_1, v_2 das Volum des in diesen enthaltenen Gases, berechnet in M-Einheiten bei dem Druck p,
a die oben definierte Größe (p. 28),
h' die Quecksilberstellung vor Beginn des Versuches, } im Meß-
h_0 die Nullstellung des Quecksilbers, } rohr M
t die Zeit von Beginn des Versuches an gerechnet,
w die Temperatur des Wasserbades zur Zeit t nach den relativen Ablesungen am Thermometer mit veränderlicher Fadenlänge,
h die Quecksilberstellung zur Zeit t,
v das absorbierte Volumen in M-Einheiten,
m das auf 760 mm und 18° reduzierte Gasvolumen in ccm pro Gramm Kohle und
m' das auf Grund einer später zu besprechenden Formel berechnete m.

Bei den graphischen Darstellungen[2]) wurde wie oben als Abszisse m und als Ordinate die Zeit t aufgetragen.

§ 9. Die Versuche.

a) Vorversuche mit Luft.

Bei den ersten mit getrockneter Zimmerluft angestellten Versuchen zeigte es sich, daß die erhaltenen Resultate, graphisch aufgetragen, Kurven ergaben, deren einzelne durch das Nachfüllen von Luft bedingte Teile sich glatt aneinander setzen ließen. Nach der Ansatzstelle aber begannen sie ähnlich den in Taf. IV[3]) dargestellten Diagrammen stärker zu

1) Tab. III, p. 39; Tab. V, p. 41.
2) Taf. II, p. 37; Taf. IV, p. 47.
3) p. 47.

steigen als vorher. Das Nachfüllen von Luft verursachte also eine Steigerung der Absorption. Zunächst lag die Vermutung nahe, daß eine beim Nachfüllen entstehende, vorübergehende Druckvergrößerung diese Steigerung bedingte. Es wurde deshalb schon vor dem Öffnen des Nachfüllhahnes das Quecksilber im Meßrohr *M* in seine tiefste Stellung gebracht und so eine vorübergehende Druckerniedrigung bewirkt. Der Verlauf der Kurven aber änderte sich dadurch nicht.

Es blieb so nur eine mögliche Deutung, der Sauerstoff mußte beträchtlich stärker aufgenommen werden als der Stickstoff. Bei der Absorption von Luft entzog die Kohle also derselben die beiden Gase mit entsprechend verschiedener Intensität, und das Gemisch verarmte sehr bald an dem ja von vornherein nur mit 21 Proz. beteiligten Sauerstoff. Wenn deshalb einige Zeit nach Beginn eines Absorptionsversuches der Kohle neue Luft zugeführt wurde, mußte die dabei entstehende Bereicherung der ganzen Atmosphäre mit Sauerstoff die vorher verringerte Absorptionsgeschwindigkeit wieder vergrößern. Die zunächst ja nicht ausgeschlossene Annahme, daß der Stickstoff der stärker aufgenommene Bestandteil sei, war nicht möglich, weil bei dem überwiegenden Anteil dieses Gases an dem Luftgemisch eine selektive Absorption desselben eine beträchtliche Verminderung des Gesamtvolumens bedingt hätte. Unter schon vorhandenen Versuchen deuteten als einzige die von Dewar[1]) mit Luft bei Temperatur von -190^{0} auf die stärkeren Absorptionseigenschaften des Sauerstoffs hin. Dort enthielt die von Kohle absorbierte Luft 56 Proz. dieses Gases. Bei 0 Grad aber lagen zur Zeit der hier beschriebenen Untersuchungen nur Beobachtungen mit Atmosphärendruck vor, bei denen der Sauerstoff um einige Prozent stärker absorbiert wurde als der Stickstoff. Die Erklärung des oben beschriebenen Kurvenverlaufes bedingte deshalb die Annahme, daß das Verhältnis, in welchem zwei verschiedene Gase von der Kohle absorbiert werden, vom Druck beträchtlich abhängt. Versuche mit reinem Stickstoff und Sauerstoff sollten das Verhalten dieser Gase bei niederen Drucken feststellen.

1) J. Dewar, Proc. Roy. Soc. **74.** p. 126. 1904.

b) Stickstoffversuche.

Der verwandte Stickstoff wurde einem von der Sauerstoffgesellschaft Berlin gelieferten Stahlzylinder entnommen. Da die Versuche eine weitgehende Reinheit des Gases, vor allem

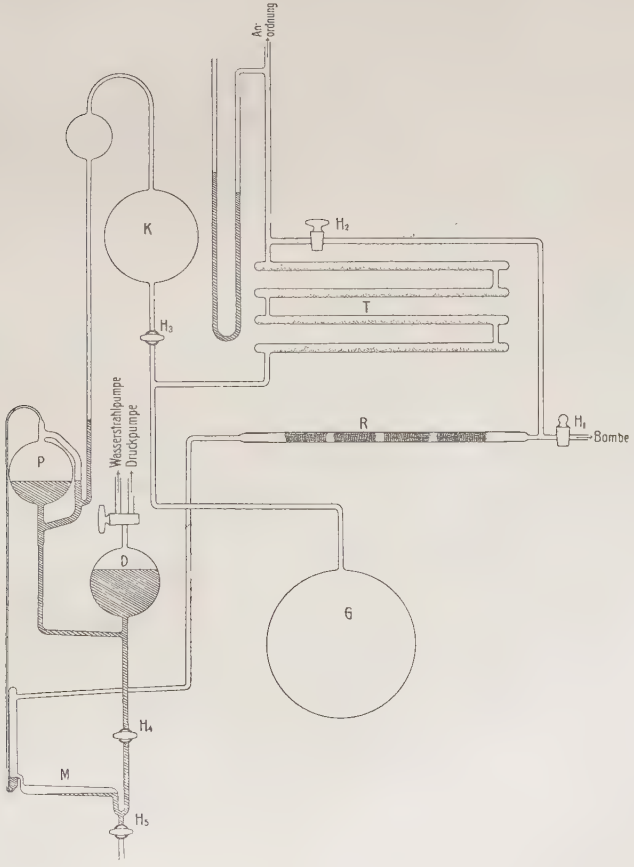


Fig. 3.

Beseitigung jeder Spur Sauerstoffs erforderten, mußte es in einer besonderen in Fig. 3 skizzierten Anordnung sorgfältig gereinigt werden. Durch die Hähne H_1 und H_2 gelangte der in der Hauptsache durch 2—3 Proz. Sauerstoff verunreinigte

Stickstoff aus der Bombe über das 7 m lange Phosphorpentoxydrohr T in das Vorratsgefäß G von ungefähr 5 Liter Inhalt und von da durch H_3 weiter in die 1,5 Liter fassende Kugel K und die Zirkulationspumpe P. Dieser nach dem Prinzip der Toeplerschen Quecksilberpumpen konstruierte Apparat wurde durch abwechselndes Absaugen und Zusammendrücken der Luft in dem Gefäß D mit Hilfe eines Wasserstrahlgebläses und einer kleinen Druckpumpe betrieben. In dem Rohre M sammelte sich das während des Pumpens durch das Fallrohr fließende Quecksilber. Von Zeit zu Zeit wurde es von da aus durch den Hahn H_4 nach der mit dem Wasserstrahlgebläse evakuierten Kugel D gesaugt, da es durch das Fallrohr selbst wegen der zu geringen Druckdifferenz in G und K nicht zurückgedrückt werden konnte. Zur Reinigung brachte die Pumpe bei geschlossenem H_3 das Gas aus K über das Reduktionsrohr R und das Trockenrohr T hinweg nach G. War dadurch in K der Druck auf einige Zentimeter gefallen, so ließ man durch vorübergehendes Öffnen von H_3 aus G neues Gas zu. Gelindes Erwärmen des Gases in G durch eine außen angebrachte Glühlampe sorgte dabei für die nötige Zirkulation. Das einen Meter lange Rohr R, in dem sich im Wasserstoffstrome reduzierte Kupfernetzröllchen befanden, wurde stets nur zu ein Drittel seiner Länge erwärmt und die heizenden Brenner dabei in Richtung der Gasströmung verschoben.

Nach ungefähr zehnmaligem Füllen und Wiederentleeren der Kugel K entfärbte der Stickstoff das von den immer weiter gerückten Brennern zuletzt geglühte Kupfer nicht mehr und konnte so als genügend rein gelten. Die ganze Anordnung hatte vor dem Gebrauch 12 Stunden unter Vakuum gestanden. Der Druck des Gases in derselben war jederzeit größer als Atmosphärendruck.

Die Versuchsergebnisse sind in Tab. III niedergelegt. Versuch 2—5 wurde mit derselben Kohle ausgeführt, Versuch 1 aber mit anderer Kohle vorgenommen als die übrigen und sollte zeigen, wieweit hier bei der angewandten großen Kohlenmenge von ca. 6 g die Übereinstimmung der Beobachtungen von der zufällig ausgewählten Kohle abhängt. Zu Versuch 7 und 8 endlich mußte neue Kohle hergestellt werden,

da durch ein Versuchen an der Gaedepumpe Quecksilber aus dem Verschlusse Q über die alte Kohle gelaufen war.

Tabelle III.

Stickstoffversuch 1. Kohlemenge 6,120 g.

	ber.	gen.	
$p = 1{,}001$ mm	$v_1 = 301 \pm 6$	—	$h' = 186$
$p' = 5{,}734$ „	$v_2 = 372 \pm 8$	372	$a = 500$
			$v_2 = 372$
			$h_0 = 314$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,690	314	0	0	0
1 0	—	611	297	0,0164	0,0162
1 45	—	613	299	0,0165	0,0167
4 15	—	619	305	0,0169	0,0169
9 0	—	624	310	0,0171	0,0172
10 0	−3,691	625	311	0,0172	0,0172
18 0	—	627	313	0,0173	0,0173
28 0	−3,701	628	314	0,0174	0,0174
45 0	−3,723	628	314	0,0174	0,0174

Stickstoffversuch 2. Kohlemenge 6,155 g.

	ber.	gen.	
$p = 0{,}358$ mm	$v_1 = 340 \pm 7$	—	$h' = 170$
$p' = 2{,}003$ „	$v_2 = 420 \pm 8$	420	$+a = 491$
			$-v_2 = 420$
			$h_0 = 241$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,587	241	0	0	0
1 20	—	667	426	0,00837	0,00821
2 50	—	671	430	0,00845	0,00834
4 40	—	674	433	0,00851	0,00841
8 30	−3,580	677	436	0,00857	0,00850
10 0	−3,589	678	437	0,00859	0,00859
40 0	−3,580	679	438	0,00861	0,00861
90 0	−3,581	680	439	0,00863	0,00862

Tabelle III (Fortsetzung).

Stickstoffversuch 3. Kohlemenge 6,155 g.

	ber.	gen.	
			$h' = 166$
$p = 0{,}575$ mm	$v_1 = 186 \pm 4$	416	$a = 496$
$p' = 2{,}256$ „	$v_2 = 230 \pm 5$		$-(v_1 + v_2) = 416$
			$h_0 = 246$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,567	246	0	0	0
50	—	574	328	0,01034	0,00993
2 15	—	582	336	0,01059	0,01051
3 30	—	585	339	0,01068	0,01058
6 0	—	587	341	0,01074	0,01068
11 0	−3,560	589	343	0,01081	0,01080
14 0	—	590	344	0,01084	0,01084
24 0	—	591	345	0,01087	0,01089

Stickstoffversuch 4. Kohlemenge 6,155 g.

	ber.	gen.	
			$h' = 197$
$p = 0{,}939$ mm	$v_1 = 334 \pm 6$	—	$+a = 500$
$p' = 5{,}861$ „	$v_2 = 413 \pm 8$	413	$-v_2 = 413$
			$h_0 = 284$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−2,934	284	0	0	0
1 0	—	582	298	0,0153	0,0152
45	—	591	307	0,0157	0,0157
6 0	—	597	313	0,0161	0,0162
10 0	−2,940	599	315	0,0162	0,0162
30 0	−2,959	606	322	0,0165	0,0164
70 0	−2,960	610	326	0,0167	0,0164

Tabelle III.

Stickstoffversuch 5. Kohlemenge 6,155 g.

	ber.	gen.	$h' = 177$
$p = 1{,}344$ mm	$v_1 = 235 \pm 5$	—	$+ a = 501$
$p' = 6{,}310$ „	$v_2 = 291 \pm 6$	291	$- v_2 = 291$
			$h_0 = 387$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−2,958	387	0	0	0
1 20	—	694	307	0,0226	0,0229
2 10	—	697	310	0,0228	0,0231
3 20	—	702	315	0,0232	0,0233
8 15	—	708	329	0,0236	0,0237
10 30	−2,952	710	323	0,0238	0,0238
21 0	—	713	326	0,0240	0,0240
33 0	−2,950	713	326	0,0240	0,0241

Stickstoffversuch 6. Kohlemenge 6,155 g.

	ber.	gen.	$h' = 163$
$p = 2{,}241$ mm	$v_1 = 118 \pm 2$	264	$+ a = 503$
$p' = 6{,}398$ „	$v_2 = 146 \pm 3$		$- v_1 - v_2 = 264$
			$h_0 = 402$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,040	402	0	0	0
1 10	—	704	302	0,0371	0,0374
3 0	—	714	312	0,0383	0,0382
5 50	—	717	315	0,0387	0,0387
7 15	−2,948	719	317	0,0390	0,0388
23 0	−2,990	721	319	0,0392	0,0394
46 0	−3,040	723	321	0,0394	0,0395

Tabelle III (Fortsetzung).

Stickstoffversuch 7. Kohlemenge 6,755 g.

		ber.	gen.	
p = 4,920 mm	v_1 = 380 ± 8	—	h' = 199
p' = 34,27 „	v_2 = 470 ± 9	470	+ a = 502
			− v_2 = 470
			h_0 = 231

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,204	231	0	0	0
1 0	—	565	334	0,0747	0,0730
2 45	—	573	342	0,0767	0,0761
8 0	−3,190	580	349	0,0781	0,0775
16 0	−3,190	581	350	0,0784	0,0784
23 0	−3,190	582	351	0,0786	0,0786
30 0	−3,201	582	351	0,0786	0,0787

Stickstoffversuch 8. Kohlemenge 6,755 g.

		ber.	gen.	
p = 9,66 mm	v_1 = 240 ± 5	240	h' = 202
p' = 46,02 „	v_2 = 296 ± 6	296	+ a = 503
			− v_2 = 296
			h_0 = 409

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm	m' ccm
0′ 0″	−3,199	409	0	0	0
1 30	—	750	341	0,1498	0,1469
3 15	—	512	343	0,1508	0,1492
4 30	−3,180	514	345	0,1513	0,1501
9 0	−3,180	516	347	0,1522	0,1520
15 0	−3,183	Beobachtungen unmöglich			

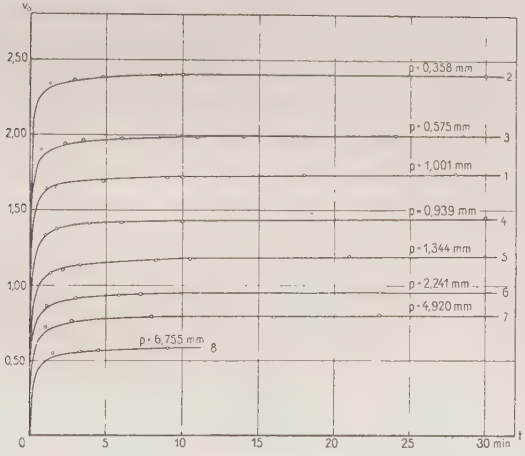
Bei der ersten graphischen Darstellung zeigte es sich, daß die Kurven innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler alle annähernd denselben Verlauf nahmen, d. h. in den ersten 2 Minuten bis zu 96 Proz. ihres Endwertes anstiegen, diesen aber erst nach ungefähr einer halben Stunde ganz erreichten.

Eine für manche Zwecke sicher angenehme analytische Darstellung der Resultate gibt die Formel

$$m' = m_0 (1 - 0{,}95\, e^{-3{,}5\, t} - 0{,}05\, e^{-0{,}15\, t}).$$ [1])

Den Weg zur Aufstellung dieser Gleichung gab eine Untersuchung von Hrn. Allen [2]), der bei der Beobachtung der lichtelektrischen Ermüdung auftretende ähnlich stark geknickte Kurven mit Hilfe zweier e-Funktionen dargestellt hat.

Tafel II.



Stickstoffversuche.

v_0 = vom Gramm Kohle absorbiertes Volumen beim Versuchsdruck p in willkürlichen Einheiten.

t = Zeit.

Das durch die gewählte Darstellung zunächst bedingte Zusammenrücken der Zeichnung auf einen engen Raum ist durch eine Verschiebung der einzelnen Kurven parallel zur Zeitachse verhindert. Die Ordinaten sind dabei verkürzt:

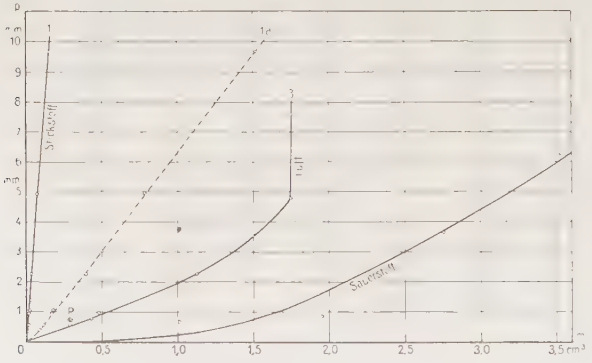
bei Kurve 1	um 0 mm	bei Kurve 5	um 30 mm
„ „ 2	„ 0 „	„ „ 6	„ 40 „
„ „ 3	„ 0 „	„ „ 7	„ 40 „
„ „ 4	„ 15 „	„ „ 8	„ 50 „

1) Trotz der aufgewandten großen Mühe ließ sich keine gleichmäßige Übereinstimmung von berechneten und beobachteten Werten erzielen, und man mußte sich unter Zulassung einer systematischen Abweichung von 1—2 Proz. in den ersten 3 Minuten mit einer Deckung in der übrigen Zeit begnügen.

2) H. S. Allen, Proc. Roy. Soc. (A) 78. p. 483. 1907.

In der Zeichnung Taf. II sind die Kurven nach dieser Gleichung berechnet — natürlich mit jedesmal gesondert zu bestimmendem m_0 — und die beobachteten Punkte besonders aufgetragen. Im Gegensatz zu der auf den anderen Tafeln dieser Arbeit benutzten Art sind hier die vom Gramm Kohle absorbierten Volumina unter dem Versuchsdrucke p und nicht auf 760 mm reduziert aufgetragen. Die eingezeichneten Volumina v_0 und v_0' sind dabei durch Multiplikation der in Tab. III[1]) unter m und m' angegebenen Zahlen mit $100/p$ erhalten. Da diese Werte sich von Versuch zu Versuch nur wenig ändern, bietet sich so der Vorteil, daß man die einzelnen in der Figur abzulesenden absoluten Unterschiede $(v_0 - v_0')$ zwischen errechneten und beobachteten Größen wie relative Abweichungen derselben untereinander vergleichen kann.

Tafel III.



m = vom Gramm Kohle absorbiertes Volumen in ccm, reduziert auf 760 mm und 18°.

p = Versuchsdruck.

Zur deutlicheren Veranschaulichung ihres Verlaufes ist Kurve 1 in 1a ein zweites Mal mit zehnfach vergrößerter Abszisse gezeichnet.

Die absorbierte Endmenge in Abhängigkeit vom Druck wird durch die fast geradlinig verlaufende Kurve 1 auf Taf. III dargestellt. Zwei Arbeiten des Frl. Homfray[2]) und Hrn. Titoff[3])

1) p. 33—36.

2) J. F. Homfray, Zeitschr. f. phys. Chem. **74.** p. 129. 1910.

3) A. Titoff, Zeitschr. f. phys. Chem. **74.** p. 653. 1910.

bestätigen durch ihre Resultate die angenäherte Proportionalität zwischen absorbierter Menge und Druck innerhalb des hier untersuchten kleinen Bereiches. Sie bestimmen beide unabhängig voneinander die von der Kokosnußschalkohle bei 0° aufgenommene Stickstoffmenge in Abhängigkeit vom Druck. Ihre Ergebnisse zeigen außerdem, daß bei den von ihnen angewandten Drucken von 2—76 cm die oben hervorgehobene Proportionalität nicht erhalten bleibt.

c) Sauerstoffversuche.

Das Gas wurde durch leichtes Erhitzen von Kaliumpermanganat in einem evakuierten Rohre gewonnen.

Die sehr starke Absorption machte es hier unmöglich, bei den auf Grund der Versuche mit der alten Anordnung gewählten Ausmessungen des Apparates den zeitlichen Verlauf mit der nötigen Sicherheit zu verfolgen. Man beschränkte sich daher auf die im folgenden zu beschreibende Bestimmung der absorbierten Endvolumina, um so wenigstens einen Begriff von der Abhängigkeit dieser Größen von den herrschenden Versuchsdrucken zu gewinnen.

Die Kohle im Absorptionsgefäß A wurde wie gewöhnlich ausgeglüht, während die übrige Anordnung bei geschlossenen Hähnen und fester Stellung des Quecksilbers im Meßrohr mit Sauerstoff gefüllt war. Im Meßrohr M und den damit kommunizierenden Rohren herrschte der Druck p, in den Nachfüllgefäßen N_1 und N_2 der Druck p'. Nach beendetem Ausglühen und dem Verschließen von Q wurde H geöffnet und nach $^3/_4$ Stunden, nach denen sich, auf Grund der früheren Versuche, das Gleichgewicht zwischen Kohle und Sauerstoff genügend gut eingestellt hatte, der entstandene Enddruck p_1 abgelesen, dann N_1 geöffnet und nach abermals $^3/_4$ Stunden der Druck p_2 bestimmt und endlich dasselbe mit N_2 wiederholt. Bei den Bezeichnungen:

$v_0 = 1780$ M-Einheiten für das Volumen der Anordnung bei der höchsten beim Versuch konstant beibehaltenen Quecksilberstellung in M bis zum Hahn H (vgl. Fig. 2, p. 24),

$v_1 = 63{,}76$ M-Einheiten für das Volumen von N_1 und

$v_2 = 78{,}73$ M-Einheiten „ „ „ „ N_2

ergaben sich die von der Kohle absorbierten Volumina als

$$w_1 = \frac{v_0 \cdot p}{p_1} - (v_0 + a),$$

$$w_2 = \frac{v_0 \cdot p + v_1 \cdot p'}{p_2} - (v_0 + a + v_1),$$

$$w_3 = \frac{v_0 \cdot p + (v_1 + r_2) \cdot p'}{p_3} - (v_0 + a + v_1 + v_2),$$

ausgedrückt in M-Einheiten bei den Versuchsdrucken.

w_1, w_2 und w_3, multipliziert mit den entsprechenden Reduktionsfaktoren, gaben dann die absorbierten Mengen m im ccm pro Gramm Kohle bei 760 mm und 18°. Infolge der schon oben erwähnten möglichen Fehler von 1 Proz. bei den Druckmessungen wurden die Resultate nicht sehr genau und die Übereinstimmung der zwei mit 0,480 und 0,483 g Kohle angestellten Versuche mußte deshalb als genügend gut betrachtet werden. Kurve 2 auf Taf. III [1]) ist aus beiden Reihen gemeinsam hervorgegangen. Die entsprechenden Zahlen gibt Tab. IV.

Tabelle IV.

Sauerstoffversuche.

Meßreihe 1.

Kohlemenge 0,480 g. $p = 2{,}592$ mm. $p' = 99{,}96$ mm.

	p	$\frac{\Sigma p v}{p}$	w	m
1.	0,805	5730 ± 114	3430 ± 4 %	1,95 ± 0,08
2.	3,652	3420 ± 68	1041 ± 7 %	2,67 ± 0,19
3.	5,787	3260 ± 63	818 ± 8 %	3,33 ± 0,26

Meßreihe 2.

Kohlemenge 0,483 g. $p = 2{,}493$ mm. $p' = 103{,}85$ mm.

1.	0,681	6500 ± 130	2110 ± 6 %	1,01 ± 0,06
2.	3,649	3450 ± 69	1076 ± 7 %	2,76 ± 0,19
3.	5,795	3317 ± 66	880 ± 8 %	3,57 ± 0,28

Das wichtige Ergebnis ist, daß *der Sauerstoff bei den untersuchten niederen Drucken 30—40mal so stark absorbiert wird als der Stickstoff.*

1) p. 38.

d) Luftversuche.

An einer Reihe Versuchen mit atmosphärischer Luft sollte nun geprüft werden, ob der in dem eben aufgestellten Satz gegebene Grund dazu genügte, die bei den Vorversuchen in § 9a erwähnten Eigentümlichkeiten des Verlaufs der Absorptionskurven zu erklären. Die Luft war dem Zimmer entnommen und in einem Glasgefäß mit Phosphorpentoxyd und Natriumhydroxyd gereinigt.

An eine erste Folge von sechs Versuchen mit ca. 0,5 g Kohle bei Drucken von 0,325 bis 7,39 mm schloß sich ein einziger Versuch mit 0,782 g Kohle bei 0,711 mm an. Die Ergebnisse sind in Tab. V und auf Taf. IV[1]) niedergelegt. Die Endmenge in Abhängigkeit vom Druck gibt Kurve 3 auf Taf. III.[2]) Der Punkt P entspricht dabei Versuch 7.

Tabelle V.

Luftversuch 1. Kohlemenge 0,483 g.

		ber.	gen.	
p = 0,523 mm	v_1 = 467 ± 9	471	h' = 208
p' = 4,356 „	v_2 = 577 ± 11	582	$+a$ = 507
			$-v_2$ = 471
			h_0 = 244

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,645	244	0	0
30	—	347	103	0,038
1 30	—	470	260	0,083
2 40	—	560	316	0,116
3 50	—	628	384	0,140
5 0	−3,631	680	436	0,159
6 40	—	737	493	0,180
7 35	—	761	517	0,188
8 50	—	196	534	0,195
10 25	−3,622	249	587	0,215
12 30	—	300	638	0,234
14 50	—	337	675	0,247
16 55	—	363	701	0,256
21 20	−3,597	393	731	0,267
28 10	—	415	752	0,275
34 20	−3,601	424	761	0,278
48 0	—	429	766	0,280
60 0	−3,605	433	770	0,282

1) p. 47.
2) p. 38.

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 2. Kohlemenge 0,505 g.

	ber.	gen.	$h' = 187$
$p = 0{,}782$ mm	$v_1 = 472 \pm 9$	487	$+\alpha = 513$
$p' = 6{,}573$ „	$v_2 = 583 \pm 12$	603	$-v_1 = 487$
			$h_0 = 213$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,740	213	0	0
1 45	—	330	117	0,061
2 40	—	466	253	0,132
3 40	—	523	310	0,162
4 30	—	562	349	0,183
5 20	—	596	383	0,200
6 12	—	628	415	0,217
7 35	—	672	459	0,240
9 12	—	712	499	0,261
10 35	−3,736	740	527	0,276
11 55	—	761	548	0,287
13 55	—	167	557	0,292
15 45	—	210	600	0,314
17 25	—	241	631	0,330
18 45	—	264	654	0,342
21 0	−3,732	293	683	0,357
24 25	—	329	719	0,376
26 50	—	349	739	0,387
30 10	−3,728	369	759	0,397
36 10	—	393	783	0,410
45 0	−3,732	412	802	0,420
51 0	—	418	808	0,423
60 0	−3,735	422	812	0,425
70 0	—	424	815	0,426

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 3. Kohlemenge 0,505 g.

	ber.	gen.	
			$h' = 163$
$p = 0{,}945$ mm	$v_1 = 370 \pm 7$	377	$+ a = 514$
$p' = 6{,}436$ „	$v_2 = 457 \pm 9$	466	$- v_2 = 466$
			$h_0 = 211$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,710	211	0	0
40	—	306	95	0,060
1 30	—	359	148	0,094
2 15	—	408	197	0,125
3 10	—	455	244	0,154
4 25	—	510	299	0,189
5 30	—	551	340	0,215
6 30	—	586	375	0,237
7 50	—	627	416	0,263
9 20	—	664	453	0,286
10 50	−3,700	697	486	0,307
13 5	—	735	524	0,331
15 10	—	764	553	0,349
17 20	—	400	566	0,358
19 0	—	428	594	0,376
20 15	−3,691	446	612	0,387
23 40	—	484	650	0,411
27 30	—	514	680	0,430
32 45	—	541	707	0,447
36 5	−3,683	554	720	0,455
42 45	—	571	737	0,466
45 5	—	576	742	0,469
56 0	−3,662	586	752	0,475
67 0	—	590	756	0,478
90 0	−3,582	591	757	0,479

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 4. Kohlemenge 0,505 g.

	ber.	gen.	
$p = 2{,}243$ mm	$v_1 = 428 \pm 8$	429	$h' = 177$
$p' = 17{,}61$ „	$v_2 = 529 \pm 10$	530	$+ a = 517$
			$- v_1 = 429$
			$h_0 = 265$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,750	265	0	0
45	—	362	97	0,146
1 55	—	393	128	0,192
2 30	—	414	149	0,224
3 20	—	437	172	0,258
4 30	—	469	204	0,306
5 25	—	491	226	0,339
6 55	—	524	259	0,389
8 0	—	545	280	0,420
9 30	—	576	311	0,467
10 55	−3,745	601	326	0,504
13 5	—	630	365	0,548
15 15	—	663	398	0,597
18 25	—	700	435	0,653
20 5	—	718	453	0,680
22 0	—	738	473	0,710
24 55	—	762	497	0,746
26 35	−3,748	243	508	0,763
28 0	—	259	524	0,787
29 45	—	276	541	0,812
31 40	—	293	558	0,838
34 5	—	315	580	0,871
37 0	—	337	601	0,902
39 30	—	354	619	0,929
44 0	—	379	644	0,967
47 15	−3,740	396	661	0,992
54 5	−3,739	424	689	1,034
61 15	−3,758	448	713	1,070
72 0	−3,758	473	738	1,108
78 30	−3,758	484	749	1,124

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 5. Kohlemenge 0,505 g.

		ber.	gen.	
p = 4,763 mm	v_1 = 522 ± 10	515	h' = 350
p' = 44,00 „	v_2 = 643 ± 12	635	$+a$ = 518
			$-v_2$ = 635
			h_0 = 233

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,749	233	0	0
1 0	—	325	92	0,293
2 40	−3,740	358	125	0,398
4 20	−3,738	383	150	0,478
6 30	—	414	181	0,577
8 30	−3,725	438	205	0,653
11 20	−3,708	467	234	0,746
14 0	−3,718	499	266	0,848
16 30	−3,700	526	293	0,934
19 45	−3,701	556	323	1,030
23 0	−3,703	585	351	1,119
27 20	−3,698	615	381	1,215
34 0	−3,695	650	417	1,329
38 0	−3,710	675	442	1,409
47 0	−3,713	702	469	1,495
56 0	−3,695	726	493	1,572
65 0	−3,698	745	512	1,632
69 10	−3,685	247	529	1,686
75 0	−3,715	265	547	1,744
85 0	−3,715	281	563	1,795
107 0	−3,695	307	589	1,868

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 6. Kohlemenge 0,483 g.

	ber.	gen.	
$p = 7{,}59$ mm	$v_1 = 357 \pm 7$	—	$h' = 183$
$p' = 50{,}11$ „	$v_2 = 441 \pm 8$	441	$+a = 519$
			$-v_2 = 441$
			$h_0 = 261$

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,699	261	0	0
1 30	—	366	81	0,430
5 0	−3,678	397	112	0,595
8 15	−3,662	420	135	0,719
11 0	−3,657	442	157	0,834
16 0	−3,647	477	192	1,020
20 0	−3,635	505	220	1,169
29 0	−3,635	549	264	1,340
43 0	−3,610	586	301	1,599
55 0	−3,602	600	315	1,673
76 0	−3,612	615	330	1,758

Luftversuch 7. Kohlemenge 0,782 g.

	ber.	gen.	
$p = 0{,}711$ mm	$v_1 = 521 \pm 10$	530	$h' = 190$
$p' = 6{,}625$ „	$v_2 = 644 \pm 13$	656	$+a = 512$
			$-v_2 = 656$
			$h_0 = 46$

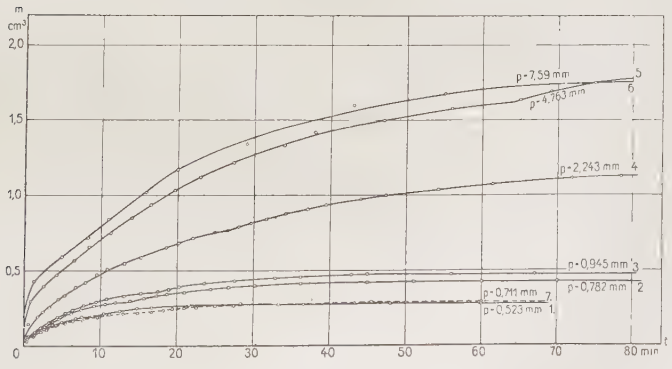
t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
0′ 0″	−3,568	46	0	0
30	—	190	144	0,044
1 30	—	299	253	0,077
2 10	—	352	306	0,094
3 0	—	409	363	0,112
4 20	—	489	443	0,136
5 30	—	540	494	0,152
6 30	—	583	537	0,165
7 45	—	624	578	0,177
9 45	—	669	623	0,191

Tabelle V (Fortsetzung).

Luftversuch 7. Kohlemenge 0,782 g.

t	w Grad	h mm	v M-Einh.	m ccm
11′ 15″	−3,550	710	664	0,203
13 0	—	740	694	0,213
14 50	—	760	714	0,219
16 40	—	245	729	0,224
18 15	—	281	765	0,235
19 35	—	305	789	0,242
21 5	−3,541	324	808	0,248
22 30	—	342	826	0,254
24 55	—	365	849	0,261
27 35	—	384	868	0,267
33 15	—	411	895	0,275
45 30	−3,538	437	921	0,283
60 0	—	446	930	0,286

Tafel IV.



Luftversuche.

m = vom Gramm Kohle absorbiertes Volumen in ccm reduziert auf 760 mm und 18°,

t = Zeit.

Die große Entfernung der beobachteten Punkte von der Kurve 6 liegt an der Unsicherheit der Beobachtungen bei höheren Drucken.

Die erhaltenen Kurven der Taf. IV verlaufen wesentlich anders als die für reinen Stickstoff. Daß sie sich mit wachsender Zeit nur langsam ihren Endwerten nähern, liegt daran, daß der stärker absorbierte Sauerstoff eine gewisse Zeit braucht, um durch den trägeren Stickstoff hindurch zur Kohle zu gelangen und von dieser aufgenommen zu werden. Die durch das Öffnen der Nachfüllgefäße entstandenen Knickungen sind überall deutlich zu sehen, am besten bei Kurve 5. Bei dem zugehörigen Versuche wurde erst nachgefüllt, nachdem die Absorption und damit die dabei auftretende Entmischung der Gase schon ziemlich ihren Gleichgewichtszustand erreicht hatten.

Die weiteren Eigentümlichkeiten der Resultate ergeben sich an der Hand der Zahlenwerte der folgenden Zusammenstellung:

	1	2	3	4	5	6	7
a) Kohlenmenge (g)	0,483	0,505	0,505	0,505	0,505	0,483	0,782
b) Versuchsdruck p (mm)	0,523	0,782	0,945	2,243	4,763	7,59	0,711
c) Absorbiertes Volumen (M-Einh.)	770	815	757	749	589	330	930
d) Gesamtvolumen (M-Einh.)	3385	3443	3220	3322	3340	2898	3536
e) Davon Sauerstoff (M-Einh.)	711	723	676	697	701	609	742
f) Reduziertes Sauerstoffvolumen (ccm)	0,252	0,363	0,406	0,965	2,154	3,120	0,220
g) Absorbierb. Sauerstoffvolumen (ccm)	0,70	0,85	0,94	1,28	1,63	1,93	0,84
h) Absorbierb. Stickstoffvolumen (M-Einh.)	29	27	26	25	25	24	40
i) Absorbiertes Stickstoffvolumen (M.-Einh.)	59	92	81	52	—	—	188

Zur Entstehung der einzelnen Zahlenreihen seien einige Bemerkungen gemacht. Es bedeuten:

c) die bei den einzelnen Versuchen gemessenen absorbierten Volumina;

d) das Gesamtvolumen der während der Absorption mit der Kohle direkt in Verbindung stehenden Teile der Anordnung, vermehrt um die durch das jedesmalige Nachfüllen bedingten Vergrößerungen;

e) den 21 Proz. betragenden Anteil des Sauerstoffs an diesen Volumina;

f) die unter e) definierten Volumina, reduziert auf 760 mm und dividiert durch das jeweilige Kohlegewicht;

g) die nach Kurve 2, Taf. III[1]) von einem Gramm Kohle bei dem Partialdruck $p/5$ absorbierten, reduzierten Sauerstoffvolumina;

h) die auf Grund von Tab. III[2]) berechneten, bei dem Druck p absorbierten Volumina Stickstoff bei *reinem* Gas und

i) die bei den *Luft*versuchen gefundenen absorbierten Stickstoffvolumina.

Es sei bemerkt, daß sämtliche Volumina mit Ausnahme von f) und g) in *M*-Einheiten unter dem Druck p angegeben sind,

Zunächst zeigt nun Reihe c) dieser Zusammenstellung, daß bei den vier ersten Versuchen die beobachteten Endvolumina keine deutliche Abhängigkeit vom Druck aufweisen. Erst bei Drucken über 2,243 mm ist eine Abnahme zu bemerken. Unter der durch die beiden vorhergehenden Paragraphen gegebenen Voraussetzung, daß der Sauerstoff bei den Luftversuchen als absorbiertes Gas wesentlich mehr als der Stickstoff in Betracht zu ziehen ist, erklärt die Auslegung der Reihen f) und g) diese scheinbare Absonderlichkeit. Reihe f) gibt ja die auf 760 mm reduzierten Sauerstoffvolumina, welche der Gewichtseinheit Kohle unter den jeweiligen Versuchsbedingungen zur Verfügung stehen, Reihe g) aber die von einem Gramm Kohle auf Grund der Versuche mit reinem Gas überhaupt absorbierbaren Volumina, wenn man stets den günstigsten, bei den Versuchen aber gar nicht verwirklichten Fall annimmt, daß der in dem Luftgemisch enthaltene Sauerstoff während eines ganzen Versuches unter dem Partialdruck $p/5$ steht. Bei den ersten vier Versuchen sind nun die unter

1) Vgl. p. 38.
2) Vgl. p. 33—36.

g) angegebenen Zahlen größer als die unter f), die Kohle wird deshalb fast den ganzen ihr zur Verfügung stehenden Sauerstoff absorbieren. Das Mengenverhältnis des aufgenommenen zum vorhandenen Gase wird sich von Versuch zu Versuch wegen der stets gleichmäßig eintretenden relativen Verringerung des Partialdruckes nicht ändern, und das absorbierte Volumen Sauerstoff selbst muß proportional den unter e) angeführten Zahlen, also ebenso wie diese annähernd konstant sein. Das im Vergleich zu dem Anteil des Sauerstoffs geringe absorbierte Stickstoffvolumen wird sich auf Grund der Versuche § 9 b nicht beträchtlich ändern, und so muß das insgesamt aufgenommene Gasvolumen sich auch wesentlich konstant ergeben. Bei den Versuchen 5 und 6 ist mehr Sauerstoff vorhanden, als die Kohle zu ihrer Sättigung überhaupt braucht, die absorbierten Gesamtvolumina werden daher im Zusammenhang mit dieser Sättigungsmenge abnehmen. Aber auch hier bildet der Sauerstoff noch den bei der Bestimmung der Gesamteigenschaften des Gemisches überwiegenden Teil. Die absorbierte, reduzierte Menge bleibt nach Kurve 3, Taf. III[1]) bei beiden Versuchen annähernd konstant, trotzdem man erwartet, daß sie mit steigendem Drucke zunimmt. Der Grund ist: bei dem Drucke $p = 4{,}763$ mm wurde Luft und damit auch Sauerstoff nachgefüllt, bei $p = 7{,}59$ geschah dies nicht. Bei Versuch 7 schließlich stand der Kohle, die hier gegenüber der sonst angewandten Menge um die reichliche Hälfte des Gewichtes vermehrt war, im Vergleich zu ihrer Aufnahmefähigkeit noch viel weniger Sauerstoff zur Verfügung als bei den Versuchen 1—4, die Lage des zugehörigen Punktes P auf Taf. III[1]) läßt ihre Absorptionsfähigkeit für Luft deshalb schlechter erscheinen als die der anderen Kohlen.

Die zuletzt angeführten Reihen h) und i) bedingen einen neuen Schluß. Reihe i) gibt die bei den Luftversuchen auf Grund der übrigen in der Übersicht gegebenen Daten zu berechnenden absorbierten Stickstoffvolumina. Da dabei vorausgesetzt ist, daß sämtlicher zur Verfügung stehende Sauerstoff von der Kohle aufgenommen wurde, was in Wirklichkeit ja kaum der Fall war, sind diese Werte sicher zu klein. Sie

1) Vgl. p. 38.

ergeben sich aber doch größer als die auf Grund der Versuche mit reinem Stickstoff zu erwartenden absorbierten Volumina dieses Gases. *In den untersuchten Druckgebieten muß deshalb die Absorptionsfähigkeit der Kohle gegenüber dem Stickstoff durch Anwesenheit des Sauerstoffs vergrößert werden.*

In den Versuchen 5 und 6 tritt diese Erscheinung wohl auch auf, da man aber nicht weiß, in welchem Verhältnis die beiden Gase in der absorbierten Menge enthalten sind, läßt sie sich nicht zahlenmäßig nachweisen.

---

§ 10. Allgemeine Folgerungen.

Es erhebt sich nun die Frage, ob man die mit den zwei verschiedenen Anordnungen gesondert erhaltenen Versuchsergebnisse bei Benutzung der im vorhergehenden Paragraphen gefundenen Resultate untereinander vereinen kann und wie weit aus der Zusammenstellung neue Schlüsse gezogen werden können.

Zu diesem Zwecke sei von dem letzten Versuche mit der zuerst beschriebenen Anordnung ausgegangen (Taf. I, Kurve 5).[1] Es werden dort nach Tab. II, 5[2] bei einer Kohlemenge von 0,15 g und dem Druck $p = 4{,}52$ mm 1,49 reduzierte ccm vom Gramm Kohle absorbiert. Bei dem in Tab. V angeführten Luftversuch 5[3] aber mit der anderen Anordnung, dessen Druck dem eben erwähnten mit $p = 4{,}763$ mm sehr nahe liegt, nehmen die angewandten 0,505 g Kohle 1,868 ccm pro Gramm auf. Weiter zeigt die diesen Versuch darstellende Kurve 5, Taf. IV[4] einen von der oben angeführten Kurve 5, Taf. I[1] verschiedenen Verlauf. Beide scheinbaren Unstimmigkeiten sind aber ohne weiteres zu erklären. Das Volumen des mit der Kohle verbundenen Teiles der ersten Anordnung war so klein, daß der Gewichtseinheit selbst bei der ganz geringen Menge von 0,15 g nur wenig Sauerstoff zur Verfügung stand, und deshalb ihr

1) Vgl. p. 15.
2) Vgl. p. 18—21.
3) Vgl. p. 45.
4) Vgl. p. 47.

scheinbares Absorptionsvermögen für Luft nach den Ausführungen § 9d den bei dem Vergleichsversuche angewandten 0,505 g Kohle gegenüber in dem ausgedehnteren Volumen der zweiten Anordnung geringer erscheinen mußte.

Ebenso wie die Endmenge hängt nun aber auch die Gestalt der den Verlauf des einzelnen Versuches darstellenden Kurve von dem insgesamt vorhandenen Sauerstoffvolumen pro Gewichtseinheit Kohle ab. Kurve 5, Taf. I[1]) verläuft genau wie Kurven 1—3 und 7 auf Taf. IV[2]), weil bei den entsprechenden Versuchen die Kohle stets annähernd den ganzen vorhandenen Sauerstoff aufnahm (§ 9d). Kurven 5 und 6 auf Taf. IV[2]) sind anders gestaltet, denn, wie ebenfalls in § 9 d dargelegt, wurde hier nicht mehr aller Sauerstoff absorbiert. Nach den früheren Ausführungen aber war sein Absorptionsvermögen dabei noch beträchtlich größer als das des Stickstoffs. Auf die Gestalt der Kurven 1—3, Taf. I[1]) endlich soll weiter unten noch speziell eingegangen werden.

Bei den Luftversuchen ist das vorhandene Sauerstoffvolumen proportional dem Volumen der mit der Kohle in Verbindung stehenden Teile der Anordnung und die der Gewichtseinheit Kohle zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge wächst mit der Verringerung des Kohlegewichtes. *Bei der hier gewählten Darstellungsart müssen deshalb die Absorptionseigenschaften der Kohle für Luft am günstigsten erscheinen, wenn das Verhältnis Volumen der Anordnung zu Kohlemenge einen gewissen Wert hat.* Dieser Wert läßt sich auf Grund der Sauerstoffkurve 2, Taf. III[3]) für jeden gegebenen niederen Druck innerhalb des mit der zweiten Anordnung untersuchten Gebietes berechnen. Dabei wird aber auch die rein geometrische Beschaffenheit des Apparates von Einfluß auf den zeitlichen Verlauf sein, da der stärker absorbierte Sauerstoff verschieden lange Zeit braucht, um durch den Stickstoff zur Kohle zu gelangen, je nachdem er durch weite oder enge, kurze oder lange Rohre oder vielleicht auch durch enge Hahnbohrungen gehen muß. Mit einer rechnerischen Darstellung des Vor-

1) Vgl. p. 15.
2) Vgl. p. 47.
3) Vgl. p. 38.

ganges bei niederen Drucken hätte man deshalb nur die speziellen Ergebnisse fassen können, die durch die zufälligen Größeneigenschaften der benutzten Anordnung bedingt waren.

Anders liegen die Verhältnisse bei den mit der ersten Anordnung angestellten Versuchen mit höheren Drucken. Die Kurven 1—3, Taf. I[1]), welche die Versuche darstellen, zeigen fast den gleichen Verlauf. Innerhalb des Bereiches der zu den Kurven gehörenden Versuchsdrucke wird sich deshalb das Verhältnis der Absorptionsvermögen der Kohle den beiden Gasen gegenüber nicht wesentlich ändern. Da nun bei Atmosphärendruck Stickstoff und Sauerstoff nach den Arbeiten der Herren Baerwald[2]) und Vater[3]) annähernd gleichstark absorbiert werden, so muß der Verlauf der Gasaufnahme innerhalb gewisser Grenzen von den bei niederen Drucken wesentlichen Bedingungen unabhängig sein, und die durch Rechnung in § 6 gewonnenen Darstellungen des zeitlichen Absorptionsverlaufes werden sich bei Berücksichtigung der durch die Verschiedenheit der verwendeten Kohle bedingten Abweichungen auf einen beliebigen anderen Fall übertragen lassen.

Zum Schluß sei noch darauf hingewiesen, daß die aufgefundene große Verschiedenheit der Absorptionsvermögen für beide Luftgase bei niederen Drucken zu einer Wahrnehmung von Herrn J. E. Lilienfeld[4]) die Erklärung liefert. Dieser gibt als vorteilhaft bei der Herstellung des Hochvakuums an, den Apparat vor dem Einbringen des Kohlegefäßes in flüssige Luft mit Sauerstoff auszuwaschen. Er glaubt, daß dessen Wirkung auf Oxydation während des Durchganges intensiver elektrischer Entladungen zurückzuführen sei. Nach den Resultaten dieser Arbeit ist nun aber die gegenüber dem Luftstickstoff so große Absorbierbarkeit des Sauerstoffs die Ursache.

1) Vgl. p. 15.

2) H. Baerwald, l. c. p. 6.

3) G. Vater, Studien über die Absorption von Gasen durch Kohle usw. Diss. Dresden 1908.

4) J. E. Lilienfeld, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 9. p. 125. 1907.

§ 11. Zusammenstellung der Ergebnisse.

1. Bei Steigerung der Glühtemperatur der Kokosnußschalkohle auf 550° gelingt es, dieselbe für aufeinanderfolgende Absorptionsversuche konstant zu machen.

2. Zerkleinern der Kohle bis zu fast unfühlbar feinem Pulver hat mit Ausnahme der ersten Minuten keinen erheblichen Einfluß auf den Verlauf der Gasabsorption.

3. Der zeitliche Verlauf der Absorption der Luft durch Kohle bei Drucken von 735,6—4,52 mm wurde bestimmt und graphisch sowie bei Drucken über 19,53 mm durch die Formel

$$m = m_1 \frac{t}{a + t} + m_2 \frac{t}{b + t}$$

dargestellt.

4. Das gleiche geschah für Stickstoff bei Drucken von 9,66—0,385 mm. Die entsprechende Formel war

$$m' = m_0 (1 - 0{,}95\, e^{-3{,}5\, t} - 0{,}05\, e^{-0{,}15\, t}).$$

5. Bei Sauerstoff wurde in dem Bereich von 5,795 bis 0,681 mm die Abhängigkeit der absorbierten Menge vom Druck ohne Verfolgung des zeitlichen Verlaufes festgestellt.

6. Das Verhältnis, in welchem zwei verschiedene Gase von der Kohle absorbiert werden, hängt wesentlich vom Druck ab.

7. Bei Drucken von 0,5—10 mm wird reiner Sauerstoff von der Kokosnußschalkohle 30—40 mal so stark absorbiert wie reiner Stickstoff; Anwesenheit von Sauerstoff vergrößert die Aufnahmefähigkeit der Kohle dem Stickstoff gegenüber.

Zum Schlusse bleibt mir die angenehme Pflicht, meinem verehrten Lehrer, Hrn. Geheimen Hofrat Prof. Dr. Hallwachs, für die Anregung zu der vorstehenden Arbeit und für das während ihres ganzen Verlaufes bekundete rege Interesse meinen ergebenen Dank auszusprechen. Ebenso danke ich Hrn. Privatdozent Dr. Dember für die mir jederzeit gern gewährten Unterstützungen.

Hrn. Prof. Dr. Heydweiller bin ich für die gütige Übernahme des Referates zu Danke verpflichtet.

Dresden, im Juni 1911.

Lebenslauf.

Ich, Friedrich Traugott Julius Bergter, wurde am 10. Dezember 1886 als Sohn des Uhrmachers Julius Bergter zu Dresden geboren. Nach vierjährigem Besuch der Bürgerschule trat ich Ostern 1897 in die Annenschule, Realgymnasium in Dresden-Altstadt, ein und verließ diese Anstalt Ostern 1906 mit dem Reifezeugnis. Von da ab studierte ich Mathematik und Physik an der Technischen Hochschule meiner Geburtsstadt mit Ausnahme des Sommersemesters 1907 und des darauffolgenden Wintersemesters, die ich an der Universität Marburg verbrachte. Seit September 1910 gehöre ich dem Physikalischen Institut der Technischen Hochschule Dresden als Assistent an.